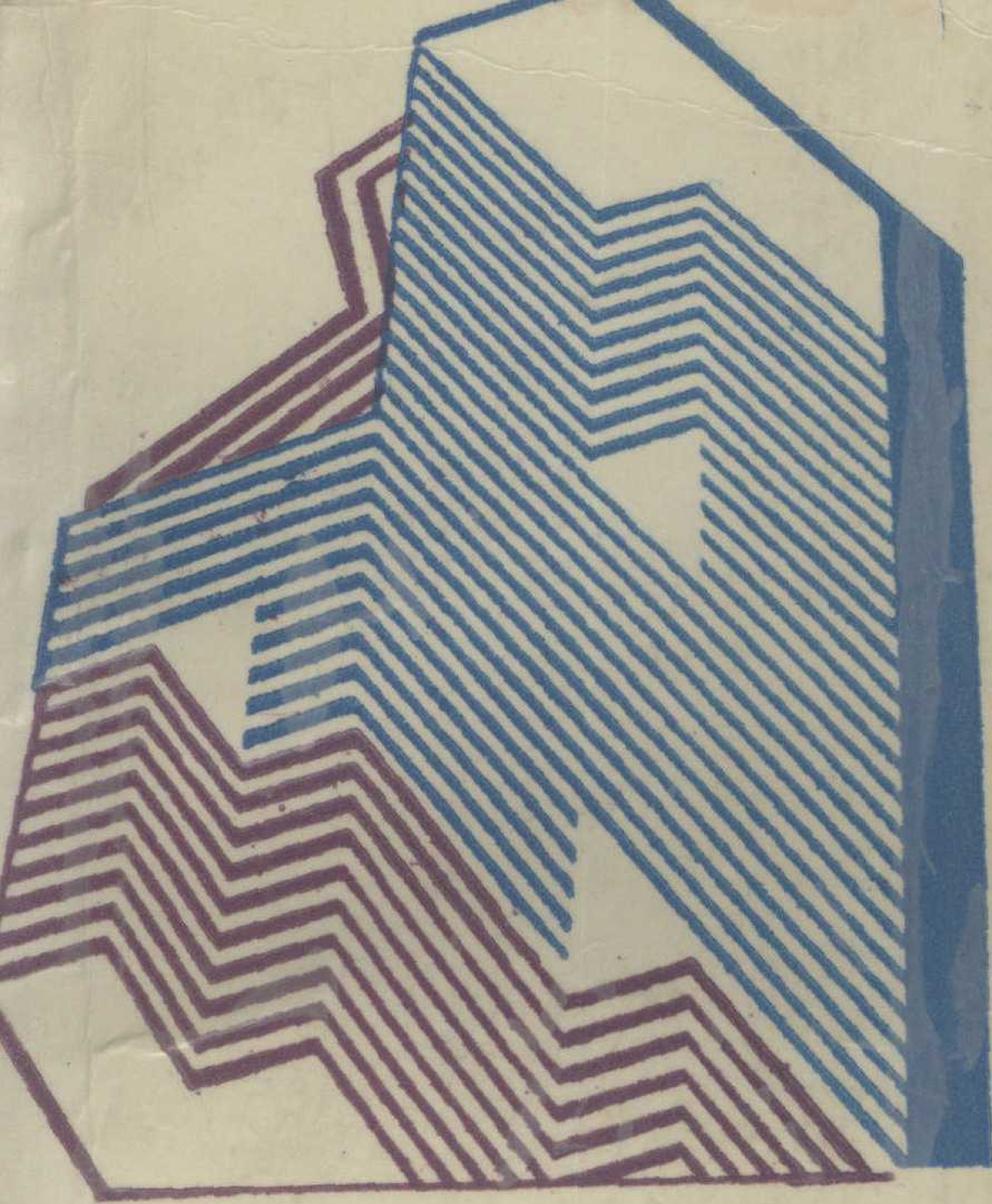


控制论 信息论 系统论与现代管理

张文焕　刘光霞　苏连义　编著

北京出版社

控制论·信息论·系统论与现代管理

张文焕　刘光霞　苏连义　编著

北 京 出 版 社

内容提要

控制论、信息论、系统论是本世纪以来最伟大的理论成果之一，它们共同构成了新型的综合性基础学科。“三论”的理论和方法，在解决复杂系统的组织管理方面显示出传统方法无可比拟的优越性。本书系统地介绍了“三论”的基本理论，包括作为系统论新发展的“耗散结构论”、“协同论”和“突变论”。在分别说明它们产生的历史条件、形成和发展过程及意义的基础上，对每一论的基本概念、原理、原则和方法作为重点内容给以较详尽的阐述，并为把这些概念、原理和方法运用于管理领域，在理论和实践的结合上做了较为深入的探讨。本书涉及管理组织、信息管理、目标决策、过程控制、系统优化等内容，且叙述简练，理论性与应用性并重，学术性与普及性兼顾。本书既可作为管理干部学习“三论”和管理哲学的指导书，又可作为大专院校管理和哲学专业的教材。



目　　录

控制论与现代管理

信息论与现代管理

系统论与现代管理



系统论的新发展


军队院校数字图书馆
八
资源仅限军内使用
空军指挥学院承制

序　言

控制论、信息论、系统论（简称“三论”）是本世纪以来最伟大的理论成果之一。它们几乎同时产生，同步发展，共同构成20世纪新型的综合性基础学科。

“三论”的崛起，把科学研究引向人体、思维、社会等复杂领域，扩大了人们研究问题的广度和深度，极大地提高了人们认识世界和改造世界的能力。目前，“三论”已广泛运用于社会生活的各个领域，尤其在解决复杂系统的组织管理方面，显示出传统方法无可比拟的优越性。事实表明，“三论”运用于管理领域，解决复杂的管理问题，不仅是可能的，而且是必要的。

首先，“三论”具有一般方法论的指导意义。“三论”所研究的问题，既不是客观世界中哪一种物质结构，也不是物质的某一种运动形态，而是从横向综合的角度研究和揭示物质运动的共同规律，因而被称为横断性科学。这个“横断性”特点，是说“三论”在横向上的概括性和广泛的适用性。“三论”不是一种具体的科学方法，而是包括自然科学、社会科学和思维科学在内的共同的科学方法论，因而被誉为“全科学的方法”。这种方法不仅深刻地反映了客观世界的真实图景，而且具有严格的程序和精确的形式，是一种更科学更规范化的方法。“三论”的学科性质，决定了它对科学研究、组织管理、领导决策以及各项具体工作，都有着很强

的指导性。可以肯定地说，“三论”运用于管理，将会大大促进管理技术的提高、管理手段的改善和管理科学的发展。

其次，“三论”为管理现代化提供了有效方法。现代管理的根本目的，是如何最佳地组织与利用人力、物力、财力，以维持人类生存活动空间的最优环境。要实现这样的目的，就必须以系统论的观点，把管理活动作为多因素和参数时变的动态系统；以信息论的观点，把信息作为分析系统内部和外部联系的基础；以控制论的观点，把控制作为实现系统优化的手段。这三个方面的统一，就是信息管理、过程控制和整体优化的现代一体化管理。显然，这是传统的管理理论、组织形式以及方法和手段所不能适应的，而“三论”却为此提供了有效的方法和工具。按照“三论”的思想，要把研究和处理的对象视为一个系统，始终从整体与部分、部分与部分、整体与环境的相互作用中，综合地分析和认识对象，确定系统目标，通过信息的传输和反馈，调节和控制人、财、物、信息、时间等要素的相互作用，从而使系统总体效益达到最优。

再次，“三论”应用于管理取得了显著成效。在国外，不仅在理论上有把系统思想和方法运用于管理领域而产生的系统管理学派和运筹学派，而且在实践上也有象阿波罗登月计划这样复杂工程的巨大成功。在国内，由于国家的重视及钱学森等一批科学家的倡导，“三论”已成为新时期干部的必修课。在理论研究上，“三论”归一的系统科学正在形成；在实际应用上，也取得了令人满意的效果。如控制论学者准确地给出了我国人口发展的数学模型；系统工程工作者预测我国粮食产量，已达到十分精确的程度。一些厂矿、企业、机关、院校、部队和科研单位，运用“三论”处理管理问题，

均取得了一定成效。实践证明，把“三论”运用于管理，有助于更新管理观念，变革传统的管理方式，提高决策水平和组织管理能力。

基于上述认识，我们编写了这本书。本书较系统地介绍了“三论”的基本理论，包括作为系统论新发展的“耗散结构论”、“协同论”和“突变论”。在分别说明它们产生的历史条件、形成和发展的过程及其意义的基础上，对每一论的基本概念、原理、原则和方法，作为重点内容给以较详尽的阐述。同时，为把这些概念、原理和方法运用于管理领域，我们在理论和实践的结合上作了初步的探索。内容涉及管理组织、信息管理、目标决策、过程控制、系统优化等方面，力求做到内容全面，叙述简练，理论性与应用性并重，学术性与普及性兼顾。

本书在编写过程中，参阅了许多国内外出版的有关著作和论文，并吸收了其中的一些研究成果，在此谨致谢意。

本书所涉及的学科较宽，内容较广，旨在与对此有兴趣的读者共同学习和讨论。由于我们水平有限，加上时间仓促，错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编　者

一九八九年八月



控制论与现代管理

第一章　控制论的形成与发展

控制论和信息论、系统论，几乎同时形成于20世纪40年代，它的主要创立者是美国数学家、学者维纳（Norbert Wiener）。在控制论产生后的短短几十年的历史中，它以神奇的力量迅速发展，并渗透到人类活动的各个领域，几乎与所有的学科都发生直接或间接的联系。控制论同信息论、系统论一样，也是一门跨越学科门类，具有浓厚方法论性质的横断科学。

一、控制论产生的基础

控制论的创立，既是科学技术高度分化、高度综合的结果，又是社会实践发展到一定阶段的产物。它的产生和发展，有着深刻的社会背景和技术、实践、理论的基础。

首先是技术基础。控制论的思想渊源和技术萌芽，可以追溯到古代的技术经验和近代的自动装置。

在古希腊的文献中，如柏拉图的《高尔吉亚》篇使用的“控制”概念，通常是指驾船术、操舵术或掌舵人，有时还用来表示对人的管理艺术。这些思想，是古代人的技术经验

处在人工控制阶段的反映。人工控制阶段的特点是控制过程的信息获取和指令的执行，都是由人直接参与或承担，离开人就无所谓控制。人们利用自己的感觉器官，了解受控对象和控制过程的状态，运用自己的头脑进行分析判断，做出某种选择和决策，对被控对象实施调节和控制。如古人操纵风箱炼铁，掌握铁犁耕地，修筑河堤控制洪水泛滥等等，都是对生产过程进行调节和控制的最初形式。

随着生产的发展，有些受控对象因构造日益复杂，速度日益加快或精度日益提高，使以往的人工控制的局限性日益暴露，迫使人们把控制的职能转交给某种控制装置去执行，于是便开始了自动控制的发展过程。自动控制的特点是在没有人直接参与的情况下，利用控制装置，使受控对象按预定要求实现自动调节。如大家熟知的瓦特调节器，就是较早的自动

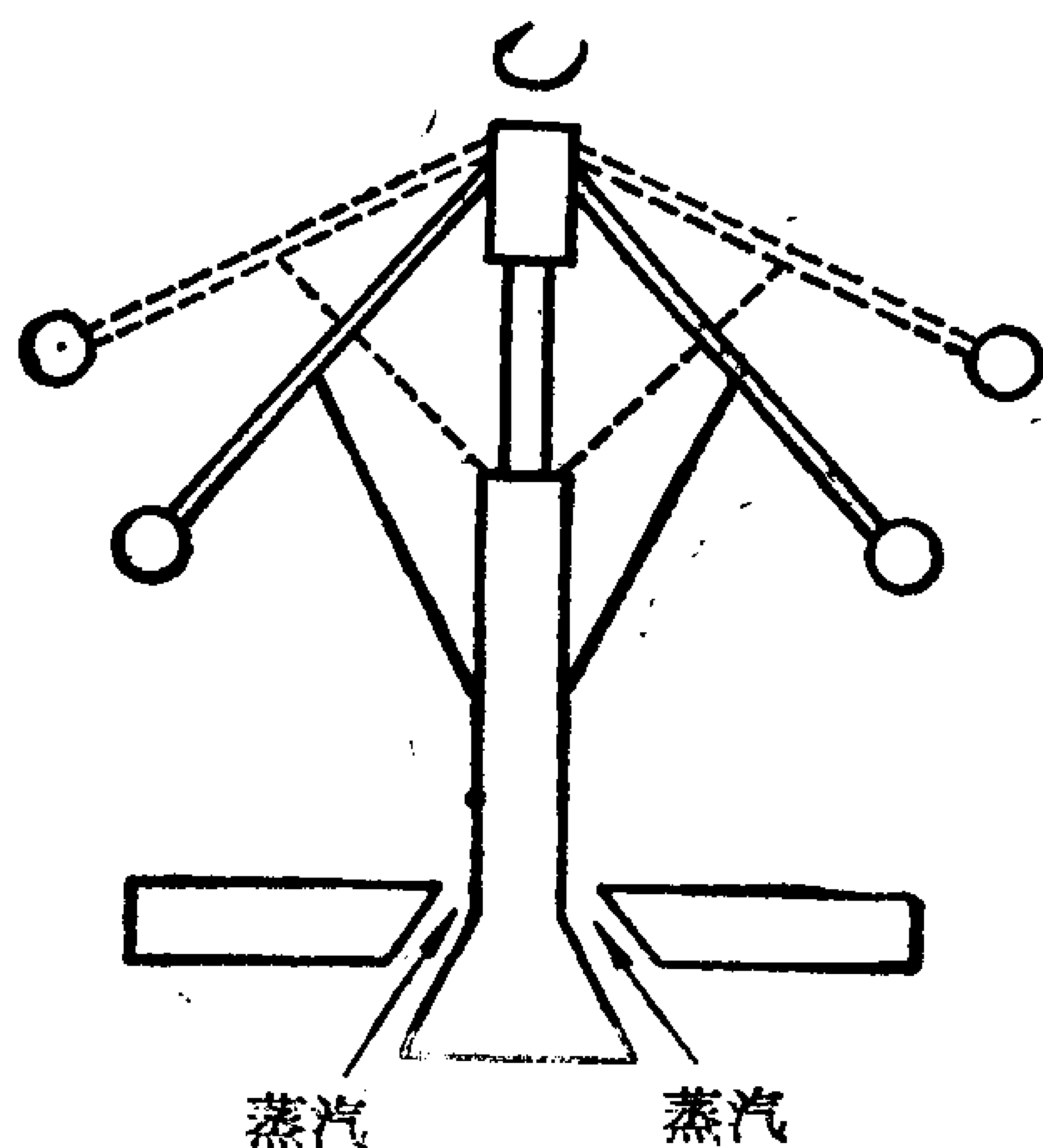


图 1—1 瓦特调节器

控制装置。如图1—1所示。当蒸汽机的负荷增大时，与调速器相联系的转轴的转速就会减慢，这样便引起重球下垂，使进入机器工作箱的蒸汽量相应增加。相反，当蒸汽机的负荷减小时，转轴的转速就会不断加快，这样便引起重球上升，使进入工作箱的蒸汽量减少，从而调节蒸汽机负荷改变时的速度，使蒸汽机转轴的转速基本保持恒定。

自动控制的发展，导致了本世纪30到40年代期间，自动控制理论这一技术学科的形成，当时被称为伺服机构理论。所谓伺服机构，简单地说就是对机械运动进行自动控制的反馈控制系统。控制论的一些主要内容（如反馈原理等），已在伺服机构理论中初具其形。可以说，控制论和伺服机构理论具有一脉相承的继承关系，控制论就是在伺服机构理论的基础上发展起来的。

其次是实践基础。伺服机构理论的实际应用，主要是在30到40年代，这期间出现了半自动化的流水作业线和车间，使得社会性的机器大生产出现自动化的趋势。

当资本主义发展到帝国主义阶段，由于资本的高度集中，使得一些大企业有能力进行设备更新。福特汽车公司率先采用自动化生产，并在1947年建立了第一个自动化部门。1948年10月21日出版的《美国机械师》杂志，第一次用“自动化”这个术语介绍福特公司自动化研究组的成果。当时，把自动化定义为：“用机械装置去操纵工件的进出，在各种操作之间转送零件，消除废料，用生产设备按照一定的时序去完成这些任务，使流水线能部分或全部地处在集中控制站的按钮控制之下的一种技术。”① 它主要是一种按固定程序通

① 《科学技术百科全书》第24卷，科学出版社版，第577页。

过仪表而进行自动控制的技术，可称之为程序控制。这种自动化一般解决的是单变量、单参数的自动控制问题，重点是单机自动化或局部自动化，它只不过是人手的延长，以减轻和代替人的体力劳动。生产实践的发展，必然要求把自动化水平推向更高的阶段。这种高水平的自动化，不仅要能减轻人的体力劳动，而且还能减轻人的脑力劳动。也就是说，要能够运用自动机器模拟人的智能，使人的智能或某些智能自动化。这类能够进行智能模拟的自动机器，主要不是作为人手的延长，而是作为人脑的延长。维纳在《人当作人来使用——控制论与社会》一书中，曾明确指出，现代社会生产的自动化，必须把反馈控制与电子计算机应用结合起来，把自动控制技术和信息处理技术结合起来，从而实现对多变量、多参数的最佳控制，以解决复杂系统的最优化问题。这些课题的研究和解决，是促使控制论形成的强大动力。

除了生产过程自动化推动控制论的形成之外，战争中自动防空系统的需要，则是导致控制论诞生的直接动力。第二次世界大战期间，德国法西斯占据空中优势，高速飞机的使用，多变的战术和狡猾的飞行技巧，使得所有旧式火炮丧失了防御能力。美英两国为了有效地对付德国法西斯的空袭，组织和建立有效的防空和反火箭网成为当时亟待解决的课题。这一新的防空系统，必须具备准确预测飞机位置、进行必要的计算、使高炮能自动瞄准等功能，这样才能有效地打击目标。这些问题的解决，涉及很多控制论方面的课题，吸引了一大批优秀的科学家从事这些问题的研究。维纳就是这一防空工程的直接参加者。最初作为自动控制高射炮装置一部分的“计算——解答电子装置”，就是在维纳领导下研制出来的。1954年，维纳在回顾他的科学生涯时，曾明确指出，他宁愿

选择1935年他的中国之行作为创立控制论的起点，作为他是一个数学家与控制论专家的分界线。1935年维纳在清华大学任客座教授，并同清华大学的电机工程系的李郁荣教授合作，进行电网络和滤波器的研究。他写到："很久以来，我就知道，一旦国家有事，我的作用将主要地决定于两件事情：同万涅瓦·布希博士所拟订的计算机研究计划进行密切接触，我同李郁荣博士关于电网络设计工作的合作。事实上，这两件事情后来都证明了是重要的。"①维纳在防空工程的研究中，成功地设计了第一个用自动控制装备起来的防空系统。上述的两件事情，在防空工程系统中发挥了重要作用。可见，战争的实践需要，对控制论的产生起着直接的催化作用。

再次是哲学基础。哲学与方法论的创新和突破，对控制论的创立起了不可忽视的作用。1943年，维纳与罗森勃吕斯（A·Rosenblueth）、毕格罗（J·H·Bigelow）合作，在美国《科学的哲学》杂志上发表了《行为·目的和目的论》的论文。在这篇论文中，他们运用科学类比的方法，解决了从古至今一直悬而未决的哲学难题：因果性与目的性的关系问题，亦即无机界的因果决定性与有机界的目的性之间的矛盾。在生物世界，生物系统的结构、活动和功能是有目的性的；在物理世界，技术系统的结构、运动和功能没有目的性而服从因果决定性。控制论的基本任务，是要在理论上找到技术系统与生物系统之间在某些功能上的相似性、统一性，以便在技术上研制出模拟动物的行为和功能（尤其是智能）的技术装置。为解决这样的问题，以往的机械论方法和神学目的论都是不足取的。机械论把高级运动形式归结为低

①维纳：《控制论》，科学出版社，1963年版，第3页。

级运动形式，把机械运动看作是生命运动的基础，把人等同于机器。目的论在其解释中，“常常加进了‘终极因’这一暧昧概念。终极因这个概念曾经导致了目的论和决定论之间的对立。……目的论之不可以置信，主要是因为它被定义作：它暗含着一个时间上后于给定的果的因”。①

维纳等人立足于现代科学的基础上，综合运用多门学科的知识，大胆地否定了机械论和目的论的思维方式，通过生物系统（动物）和技术系统（机器）行为结构、调节机制的类比，寻找二者的相似性和统一性。他们发现，无论是动物还是机器，都是由操纵机构（加工、处理信息，并对受控对象发出指令）、受控对象（接受指令，执行某种特定任务）、直感通道和反馈通道（搜集和传递外界环境和自身完成任务的信息）这四个基本要素构成的有组织的系统。尽管技术系统的动作是用输入和输出来表示，生物系统的动作则用刺激和反应来表示，但都可以用一个更一般的概念来描述，这个概念就是“行为”。进而又可以把行为和目的联系起来，把目的赋予新的解释：“一切有目的的行为都可以看作需要负反馈的行为。”②“目的论行为成了受负反馈的控制的行为的同义语。”③把目的做了这样的理解后，又引进了信息概念，很好地解决了系统的调节机制问题。这样，随着因果性和目的性矛盾以及调节机制的解决，就可以把目的这一概念赋于机器，使机器模拟动物的某些行为成为可能。从《行为·目的和目的论》这一论文中，可以清楚地看出控制论的基本思想和其创立的哲学基础。

控制论的创立不仅有技术、实践和哲学基础，而且有其

①《控制论哲学问题译文集》，商务印书馆，1965年版，第9页。
②同上，第9页。
③同上，第9页。

数学基础。维纳早在1913年至1915年就到英国剑桥大学和德国哥廷根大学，在著名数学家罗素（B·Russell)、G·H·哈迪和D·希尔伯特的指导下研究数学。从1919年起到马萨诸塞理工学院数学系工作，他本人就是美国著名的数学家。同维纳一起研究控制论的还有著名数学家冯·诺依曼(J·Von Neumann）、匹茨（W·Pitts）等人。控制论的数学基础，不仅涉及微积分、矩阵论、计算机数学等多种数学理论和方法，还受到数理逻辑的深刻影响。维纳指出："在控制论的历史上反复出现过的一个因素，即数理逻辑的影响，……假如我必须为控制论从科学史上挑选一位守护神，那就挑选莱布尼兹。莱布尼兹的哲学集中表现在两个密切联系着的概念上——普遍符号论的概念和推理演算的概念。今日的数学记号和符号逻辑即来源于此。"①

二、控制论的形成

如果说1942年以前是控制论的酝酿阶段，那么1943年到1948年这段时间，则是控制论的形成阶段。

从上述控制论产生的基础中，我们可以清楚地看到，控制论形成于科学的边缘地域或科学无人区。维纳在《控制论》这本书的开始就写道："这本书是十多年来我和当时在哈佛医科学校，现在在墨西哥国立心脏学研究所的阿托罗·罗森勃吕斯博士共同研究的成果。"②在维纳和罗森勃吕斯等人尚未确定共同研究目标之前就认识到，现代科学技

①维纳：《控制论》，科学出版社，1963年版，第12页。
②同上，第1页。

术的发展，一方面从莱布尼兹以后，似乎再没有一个人能够充分地掌握当代的全部知识了，从那时起，科学日益成为专家们在愈来愈狭窄的领域内进行着的事业，从而使一些科学家沦为狭隘分工的奴隶；另一方面又出现了各门学科相互渗透、相互交叉，走向综合的趋势，提出了许多需要各门学科共同研究的课题，这与原有的狭隘的专业分工发生了尖锐的矛盾。要解决这一矛盾，必须打破原有的狭隘专业分工的界限，集合一批既是他自己领域的专家，又对他邻近领域有十分正确和熟练的知识的科学家，到未被开垦的科学处女地去进行勘查、开垦和耕耘，才能在科学上取得最大的收获。维纳等人对科学发展状况的深刻分析，为他们选择科学研究的战略目标起了重要的导向作用。维纳在谈到控制论产生时写道："许多年来，罗森勃吕斯博士和我共同相信，在科学发展上可以得到最大收获的领域是各种已经建立起来的部门之间的被忽视的无人区。"① 正是这样的无人区，成为待开垦的科学处女地，为有修养的研究者们提供了辛勤耕耘的领地和施展才华的机会。维纳等人之所以能够创立控制论这门新学科，正是由于他们的战略思想有独到之处，高屋建瓴、统观全局，及时抓住了当代科学技术发展的特点，认识到各门学科之间的相互渗透已成为当代科学发展的一种潮流，因而正确地确定了自己的研究领域和战略目标。

战略目标确立之后，维纳等人立足于现代科学技术，综合运用多门学科的优秀成果，着意在科学的无人区进行开拓。在研究中，他们发现人和动物等生命机体在目的性行为和控制功能上，与自动控制的技术装置之间存在着某些相似性

①维纳：《控制论》，科学出版社，1963年版，第2页。

和统一性，这就有可能运用统一的语言、概念表述出来，形成一门既包括机器，又包括生命机体的统一的普遍理论——控制论，以解决“既是机器中又是活的机体中的控制和通讯的问题”。为建立这样一个具有跨学科性质的科学部门，维纳和罗森勃吕斯等人利用在哈佛大学每月一次的聚餐方式，组织科学方法的讨论会。与会者包括数学、物理学、生物学、工程学、医学、心理学等多种专业的学者，进行学术交流，活跃学术思想。他们采取多种方式，将各专业的志同道合者组织起来，为多学科的相互融合创造条件，甚至为他们制订训练大纲，采取措施让数学家、数理逻辑学家、生理学家接触工程技术，帮助生理学家补数学、物理学和工程学的基础，使工程师和数学家熟悉生物学、心理学和医学等专门知识，然后从不同的战线开展对这一共同领域的研究。维纳为解决反馈机制问题，在1946年夏到1947年秋，特意到墨西哥国立心脏研究所，与罗森勃吕斯共同工作了一段时间。在这段时间，他们通过猫的肌肉痉挛现象的研究，精确地预测出反馈系统的振荡频率，为控制论的形成取得了一系列新的实验数据。1947年春，维纳在去法国参加调和分析问题的数学会议时，途经英国，看到一些英国学者在控制论研究方面取得的成果和表现出来的极大热情，使维纳强烈感觉到朝这个方向解决问题的迫切性。就在这次会议上，维纳接受了赫曼书店费里曼的要求，于1948年出版了《控制论》，宣告了这门科学的正式诞生。

回顾控制论酝酿和形成的全过程，正如梁诚瑞指出的那样：“从科学史的角度看来，任何科学上的重大发明总是时代进步的结果，是在继承了前人的基础上发展起来的。N·维纳的《控制论》并非如人们所知的那样产生于美国。它的直系祖先来自欧洲的莱布尼兹；它的发端在中国的清华大学；它

的形成是在墨西哥的心脏生理研究所；它的创立则是从美国普及到世界各国。很多国家的科学家为它作出了各自的贡献。在它形成的过程中，吸收和利用了物理学、数学、数理逻辑、神经生理学、医学、心理学、电工学和计算机等学科的研究成果，凝聚了许多科学家智慧的结晶”。①

控制论是从寻找学科之间的共同联系出发，为把动物的目的行为赋于机器，将动物和机器某些机制加以类比，从而抓住一切通讯和控制系统中所共有的特征，站在一个更概括的理论高度上，加以综合形成的一门具有更普遍意义的新理论。维纳因而把控制论定义为："关于在动物和机器中控制和通讯的科学"，并把它作为《控制论》这本书的副标题。明确地指明这门新科学既突破了动物和机器的界限，又突破了控制工程与通讯工程的学科界限。它的研究对象是一切系统所共有的通讯和控制方面的特征，它的目的"在于创造一种语言和技术，使我们有效地研究一般的控制和通讯问题，同时也寻找一套恰当的思想和技术以便通讯和控制问题的各种特殊表现都能借助一定的概念加以分类"。②

三、控制论的发展

1948年以后是控制论的发展阶段。控制论的发展阶段是将最一般意义上总结和概括的概念、原理、模型和方法，应用于可能运用的领域。其发展过程，大致分为三个时期。

第一个时期，从40年代末到50年代，是经典控制理论时期。在这一时期，主要的研究对象是单因素控制系统，重点

①梁诚瑞：《维纳的〈控制论〉和清华大学》，中国科技史料，1980年第1期。

②《维纳著作选》，上海译文出版社，1978年版，第3页。

是反馈控制，核心装置是各种各样的自动调节器、伺服机构及其有关的电子设备，着重解决单机自动化和局部自动化问题。如用自动调节器来控制锅炉水位、蒸汽的温度、水轮机的转速、发电机的电压、电动机的运转等；用伺服机构使雷达自动跟踪目标，控制火炮自动瞄准，构成飞机、舰艇的自动操舵系统等。这些都是单变量自动控制，只解决单输入与单输出系统的控制问题，在应用上有一定局限性。

第二个时期为60年代，是现代控制理论时期。在这一时期，主要研究对象是多因素控制系统，重点是"最优控制"，核心装置是电子计算机。从60年代初开始，随着导弹系统、人造卫星、航天系统等科学技术的迅速发展，提出了多输入、多输出、高精度和参数时变系统的分析与设计问题，以往经典控制论已不能满足需要了。美国科学家卡尔曼(Kalman)等人，拓广了经典控制论的内容，引入量子力学等新的学科成果，把控制论从"经典控制理论"推向"现代控制理论"，从单变量的自动调节发展到多变量的最优控制。最优控制对自动化的要求不只是保持个别变量，如温度、电压、转速等的恒定，而是要求实现多变量的最佳调节。比如，使整个发电厂的技术经济指标最好，使人造卫星的轨道最佳，使导弹的脱靶量最小。也就是说，要求达到理想状态的时间最短，耗用能量最小，衡量动态误差的某一积分指标最小。这些就是最优控制的基本内容。

第三个时期为70年代以后，是大系统控制理论时期。在这一时期，主要研究对象是因素众多的大系统，重点是大系统多级递阶控制，核心装置是电子计算机联机和智能机器，着重应用于经济系统、社会系统、生态系统、环境系统和管理系统等。这些大系统，所要控制的是整个体系的总体性能指

标，往往具有规模庞大、结构复杂、功能综合、因素众多的特点。系统之大可包括整个工厂，一个城市或国家，以至几个国家或全球范围。有人试图把整个人类社会作为一个大系统，来研究其政治、经济、环境、人口等方面的发展规律，以实现对整个社会的最优控制和最优管理。正是大系统控制理论的出现，带来了控制思想、方法和手段的迅速演变，不仅推动了工程控制论的发展，而且使控制论深入到生物、经济、管理、社会和思维等领域。

控制论的发展过程，向人们展示了它的应用范围之广，发展速度之快，在科学史上没有哪一门科学可以与之相比拟。在短短的几十年的时间里，控制论对科学研究、劳动生产、经济管理、社会生活和人的认识，产生了极其广泛而深刻的影响。它横跨技术科学、基础科学、社会科学和思维科学，形成了以理论控制论为中心，包括工程控制论、生物控制论、社会控制论和智能控制论四大分支在内的庞大的学科体系。控制论与有关学科的关系，如图1—2所示。

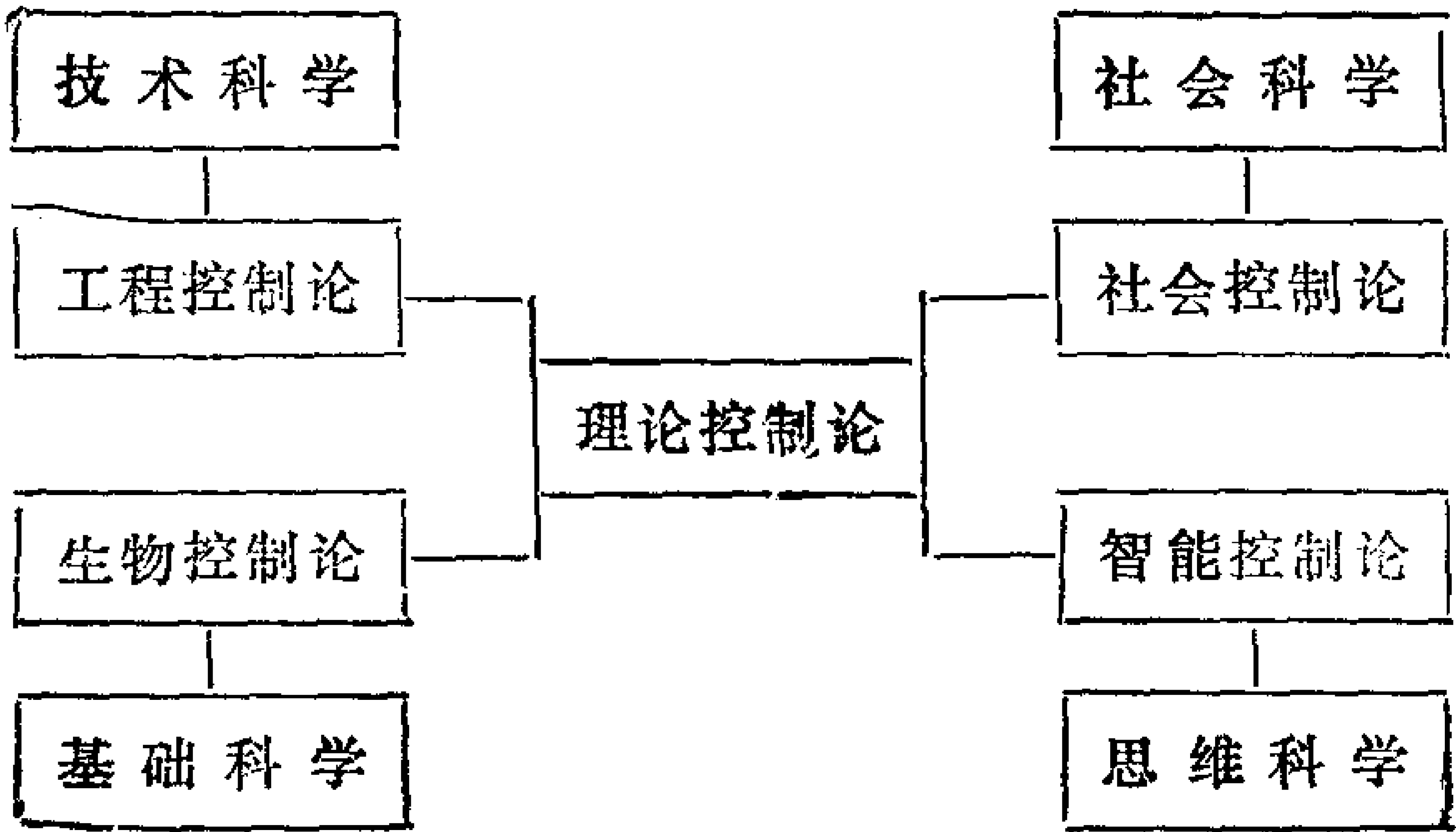


图1—2　控制论及其相关学科

（一）工程控制论

工程控制论是我国学者钱学森创立的。他于1954年在美国发表的专著《工程控制论》,是工程控制论的奠基性著作。工程控制论是控制论运用于工程技术方面而形成的自动控制理论。它是控制论的基本理论和方法与反馈放大器理论、伺服机构理论相结合的产物，是电子线路、电力机械、气动和液动等自动化系统的理论基础。正如它的创立者钱学森指出的：“工程控制论在其形成的时候，就把设计稳定与制导系统这类工程实践作为主要研究对象。”①后来，随着电子计算机的广泛应用和综合自动化水平的提高，有关工程控制的思想、理论和方法又有了新的发展。

（二）生物控制论

生物控制论是运用控制论研究生物系统中的信息传递、变换、处理过程和调节控制规律的科学。在50年代，控制论一般只能应用于简化了的生物线性系统，初步解释了动物及人的体内稳定、生物自我调节控制问题。60年代至70年代以来，随着现代控制理论和大系统理论在生物学中的广泛应用，生物控制论的研究对象不断扩大，开始向研究更复杂、更综合的生物系统的方向发展。由于研究范围不断扩大和深入，形成了医学控制论、神经控制论等新分支。生物控制论研究的主要目的有两个方面：一方面是将其他科学方法和技术用于生物科学，以弄清这些生物控制系统的机理和规律；另一方面是在此基础上，可以运用生物在亿万年的进化过程

①钱学森、宋健：《〈工程控制论〉序》，科学出版社，1980年版。

中所形成的极其灵敏、完善的控制方式，为仿生控制论提供丰富的思想源泉。

（三）社会控制论

社会控制论是把控制论运用于社会大系统而产生的控制理论。维纳把社会看作是一种信息、控制系统，认为控制论有必要而且有可能运用于社会的研究和管理。他在《控制论》一书中就曾提出过这个问题，并试图运用控制论的观点分析社会问题。1950年他写的《人有人的用处》一书，就是以“控制论与社会”作为副标题的，并强调了社会反馈的重要意义。他的这一认识，被后来的实践所证实。目前，控制论已广泛应用于社会学、经济学、法学以及国家管理、企业管理、军事指挥等不同的社会领域。例如，运用控制论研究复杂的社会经济问题的经济控制论，是用控制论的基本理论和方法，结合运用系统工程、运筹学等当代科学技术手段，把社会经济作为一个动态系统，通过系统辨识，建立经济模型，对社会经济作出定性、定量的分析和预测，并由此得出计划和管理经济的最优策略。今天，人们不仅成功地运用控制论方法研究社会经济，而且努力探索在整个国家的经济活动和环境保护中运用控制论，从而把控制对象推向比大系统更复杂的社会巨系统。

（四）智能控制论

控制论的中心任务之一是研究智能的模拟问题，就是用电子计算机模拟人脑的功能。将人类的智能，如学习、探索和自适应等能力引入控制系统，使其具有识别、决断等功能，从而构成比较完善的控制系统，把自动控制推向高级阶

段——智能控制。在智能控制论中，最主要的是人工智能。人工智能既是控制论的重要分支，也是计算机科学的分支之一。人工智能是用控制论的观点，把计算机与人脑进行类比，用机器（以计算机为主）模拟人脑（包括神经系统）的功能，探索和模拟人的感觉及思维过程的规律，以便用机器来承担通常需要人的智能才能完成的任务。智能控制论为研究人的智能机制以及人的智能在机器中的再现开辟了新途径，从而推动控制论向智能科学发展。

第二章　控制论的基本概念

一、可能性空间

可能性空间是控制论的出发点。可以说，控制论的大厦是建立在可能性空间之上的，因而它是控制论中最基本的概念。

什么是可能性空间呢？可能性空间是指事物在发展变化中所面临的各种可能性的集合。如果事物A的可能性状态是n个，用x_1，x_2，……x_n表示，那么事物A的可能性空间就是这些状态的集合：

$$A=\left\{x_1,\ x_2,\cdots\cdots x_n\right\}$$

世界上任何事物的发展，都存在着多种多样的可能性，因而都有一定的可能性空间。比如，一件工作有成功或基本成功的可能，也有遭到各种各样失败的可能；报考学校有落榜的可能，也有被录取的可能；一个青少年有成为国家这种或那种有用之才的可能，也有变得这样或那样坏的可能；如此等等。这说明世界上现实的具体的事物，并不是一开始就注定要发展成某一种样子的。至于事物具体发展成为可能性空间中哪一种状态，则取决于外部条件。由于外部条件甚至某种偶然原因，才使事物沿着可能性空间中的某一状态发展下去，最终使这种可能状态变为现实状态。一旦事物变化到

某一状态后，它的下一时刻又面临着新的可能性空间。如一粒种子撒在田里，有生根发芽的可能，也有不发芽甚至霉烂的可能。种子一旦生根发芽，它又会面临茁壮成长而最后“万粒归仓”的可能，或者中途夭折、被虫灾吞噬而颗粒不收的可能。因此，一个事物的发展过程中的可能性空间呈树枝状态，犹如树枝一样向无限远处伸展开去。如图2—1所示。

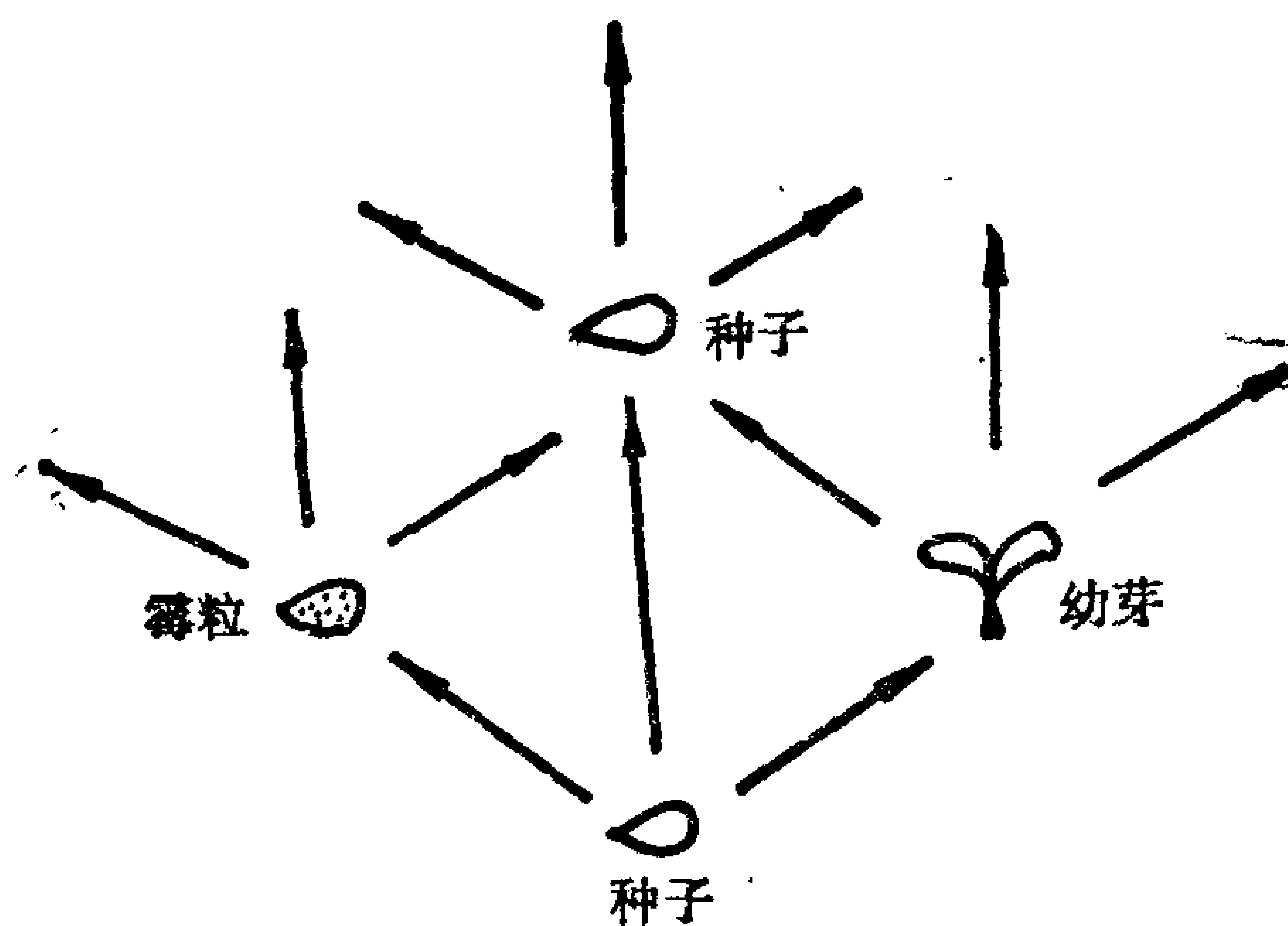


图2—1 种子的可能性空间

事物的可能性空间之所以呈现树枝状态，而不是呈直线状态，是因为事物的发展变化具有“不确定性”。“不确定性”就是矛盾性。也就是说，事物发展变化的可能性是事物内部的矛盾运动造成的。任何现实事物的内部都包含着矛盾，这是造成可能性的根据。具体的事物作为矛盾的统一体，因而事物的发展变化都具有肯定自身和否定自身两种状态。这两种状态在不具备实现条件的时候，是作为事物发展

趋势即可能性而存在的。拿生命来说，每一个生命个体都是生的因素和死的因素的对立统一，生的因素和死的因素究竟何者成为现实的状态，则取决于一定条件作用下的矛盾运动。正如恩格斯所说："今天，不把死亡看作生命的重要因素、不了解生命的否定实质上包含在生命自身之中的生理学，已经不被认为是科学的了，因此，生命总是和它的必然结果，即始终作为种子存在于生命中的死亡联系起来考虑的"。①当人们利用并创造条件，把事物的可能状态转化成现实状态的过程，就是对该事物实施控制的过程。

二、控制与控制能力

（一）控制

在现实生活中，控制活动是广泛存在的现象。汽车、飞机、轮船的驾驶及机器的操作等是一种控制；生产的调度、战争的指挥也是一种控制；党纪国法的约束，良心的谴责，目的在于调节人们的社会行为，是一种内容更复杂的控制。控制作为控制论的重要概念，是人类控制活动的理论概括和总结，包含着更深刻的内容。

控制作为科学的概念，它是指人们根据给定的条件和预定的目的，改变和创造条件，使事物沿着可能性空间内确定的方向（或状态）发展。控制归根到底是一个在事物可能性空间中进行有方向的选择过程，是实现事物有目的的变化的活动。

---

①恩格斯：《马克思恩格斯选集》，第3卷，第570页。

在这里我们不难看出，控制的概念不仅和事物发展变化的可能性空间有关，而且还与选择有关。选择不是一种偶然的随意性活动，而是一种有意识、有目的的主动行为。可以说，没有目的就谈不上选择，没有选择也就谈不上控制。在控制论中，目的是广义的。它不仅表现为同人的思维有关的愿望，而且表现为生物机体、机器装置、人类群体通过调节所维持的某种属性和功能。在一般意义上，目的可以理解为人们预期的结果，这种预期结果作为控制目标，又必须是事物可能性空间中的某种状态。如果事物的现状不符合我们需要或愿望，在给定的条件下，我们选择事物可能性空间中的某一种状态作为理想的状态，通过某种手段或采取一系列措施，把这种理想状态变成现实状态，也就完成了选择，从而实现了控制。控制活动在本质上就是保持事物的稳定状态或促使事物由一种状态向另一种状态转换。人类就是通过选择来实现对事物的控制的，并通过控制达到认识和改造事物的目的。例如，一个人如果知识和能力水平低，不适合工作的需要，那么就要通过学习培训，提高他的知识水平和工作能力，以满足工作的要求。一个单位如果不符合现代化建设的要求，那么就要通过深化改革和科学管理等措施，改变现状，提高效益，使其进入一种新的状态。

要实现对事物的控制，必须具备相应的条件。事物的发展过程不同，预期的目标状态不同，其实施控制的方式和条件也不同。但是，对于一般的控制过程来说，要实现对事物的控制，必须具备以下两个条件：

首先，被控对象必须存在多种发展的可能性。我们知道，控制的目的是为了保持或改变事物的状态，因而事物必须是可以改变的，即存在着多种发展变化的可能性。如果事

物没有状态的变化，即事物的未来只有一种可能性，就无所谓控制了。比如，光在真空中的传播速度是确定的，即每秒299,793千米，只要是在真空条件下，就只有这样一种可能性。因此，我们不能说控制了光在真空中的传播速度。

其次，目标状态在各种可能性中是可以选择的。被控制的对象不仅必须存在多种发展的可能性，而且可以通过一定的手段在这些可能性中进行选择，才能谈得上控制。在这里，必要条件是两个：一是所确定的目标状态必须包括在被控对象的可能性空间之中；二是具备相应的手段和条件能把目标状态从可能性空间中选择出来。否则，就无法实现控制的目的。比如，火山在某一时刻有爆发或不爆发的可能，地震有发生或不发生的可能，但目前人类还不能在这两种可能性中进行选择，因此就不能说控制了火山爆发，或控制了地震这类话。

（二）控制能力

要通过选择实现控制目标，就要有相应的条件。控制必须是目的和条件（手段）的统一，这就涉及到控制能力这个概念。什么是控制能力呢？所谓控制能力，通俗地说就是创造条件使事物向目标状态转化的能力。如果不具备与目标要求相应的控制能力，就不能有效地控制事物的状态变化。即使事物有向目标状态转化的可能，但由于缺乏必要的条件，也就不能把可能性变为现实性。工厂企业经济效益的控制，不仅要有明确的效益指标，同时要具备人力、物力、财力以及信息等条件，否则，要实现控制目的是不可能的。导弹、卫星的控制也是一样，如果没有先进的科学技术手段，也只能是人类的良好愿望。在这里，目的和条件的统一强调的

是“相应”，是“匹配”，而不是条件越多越好。当然，条件不充分不能实现控制目标；相反，不必要的条件多了，同样达不到控制目的。庄稼施多了肥、浇多了水就会死亡，人体营养过量会影响健康，管理组织人浮于事会降低效率，如此等等。这都是我们在实际控制活动中必须要注意的。

在实际的控制活动中，对于绝大多数控制过程来说，人们并不是把事物的可能性空间精确地缩小到某个唯一状态，而只是把可能性空间缩小到一定范围就达到控制目的了。也就是说，我们通常称为目标的那种事物状态，不是绝对精确的或唯一的，它也还有多种可能性。如果任何控制过程都想以某个唯一状态为目标，不但没有必要，而且也难以办到。实际控制所要求的，是每实施一次控制，事物发展变化的可能性空间就缩小一些，直至达到预期的目标状态。至于可能性空间缩小到什么程度，要看具体情况而定。

拿打靶来说，实际上是射手用步枪对子弹的飞行位置进行控制。射击时，即使是一个优秀的射手，也很难每一枪必中靶心。但是一个优秀的射手之所以优秀，是因为他能将弹着点控制在较小的范围。一个命中十环的射手比命中八环的射手优秀，就是因为他的控制能力强一些。在射击这种控制中，我们用环数来表示射手水平的高低，实际上环数就是控制能力的一种表示方法。可见，可能性空间缩得越小，标志着控制能力就越强。因此，我们把实施控制前后的可能性空间之比称为控制能力。如果某一事物的可能性空间为M，实施控制后，可能性空间缩小为m，那么控制能力就是M/m。如果可能性空间为无限多，并且互相连续，就可以用面积大小的比例来表示。如图2—2所示。

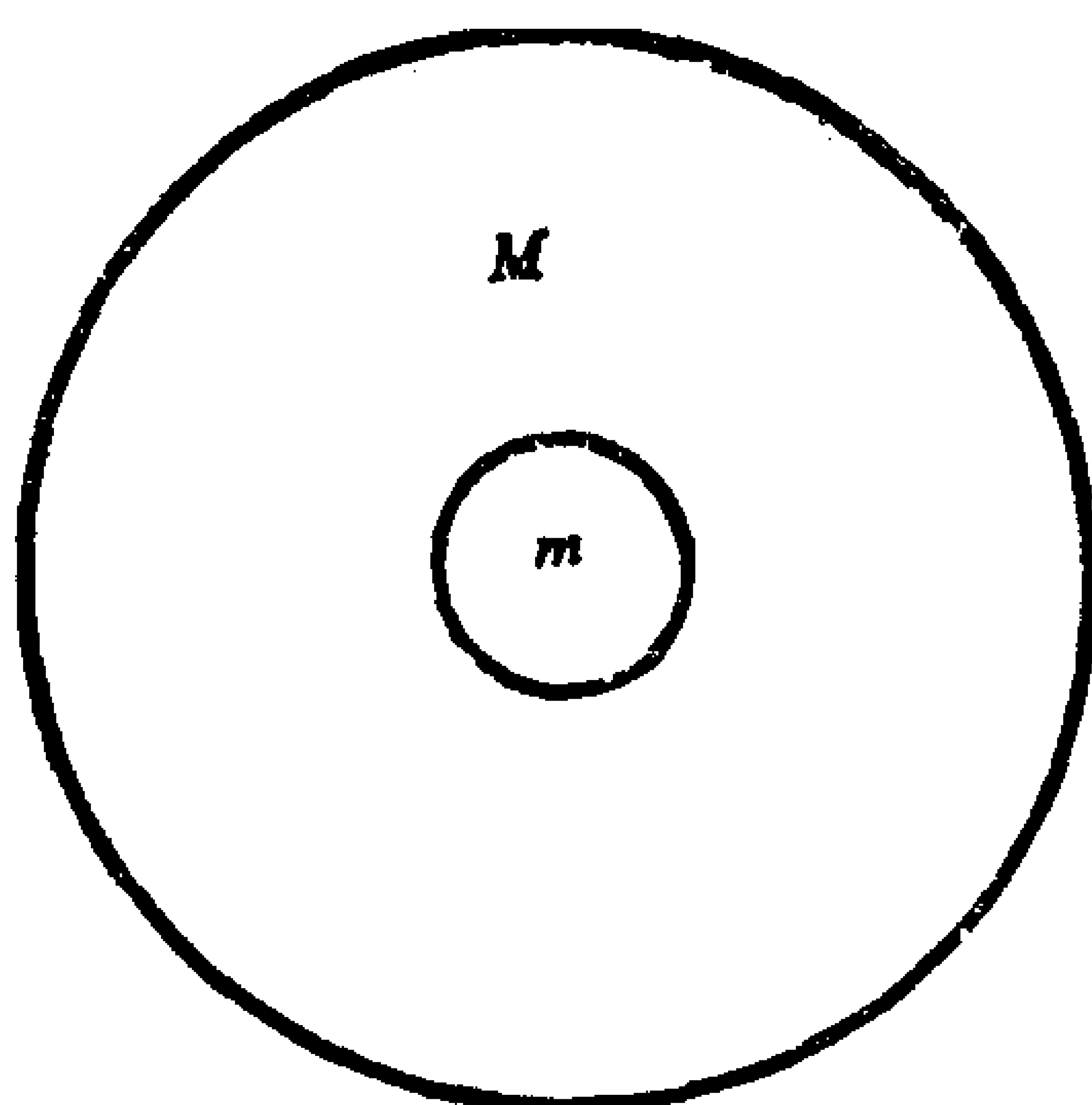


图 2—2 控制前后可能性空间变化

三、控制系统与控制论系统

（一）控制系统

通过上述控制概念的介绍，我们可以了解到，控制活动直观地说，就是施控者（施控主体）对受控对象（受控客体）的一种能动作用。这种作用能够使得受控对象根据施控者的预定目标而动作，并最终达到这一目标。鉴于此，苏联的控制论学者列尔涅尔（А·Я·Лернер）对控制给出了这样一种定义："为了'改善'某个或某些对象的功能或发展，需要获得并使用信息，以这种信息为基础而选出的，加于该对象上的作用。"① 控制作为一种作用，至少要有作用

①列尔涅尔：《控制论基础》，科学出版社，1980年版，第85页。

者（即施控主体）与被作用者（即受控客体）以及作用的传递者这样三个要素。由这三个组成部分组成一个整体，相对于某种环境而言，才能具有控制的功能和行为。因此，我们可以把施控者、受控者和控制作用的传递者三个部分所组成的，相对于某种环境而具有控制功能与行为的系统，称为控制系统。如图2—3所示。

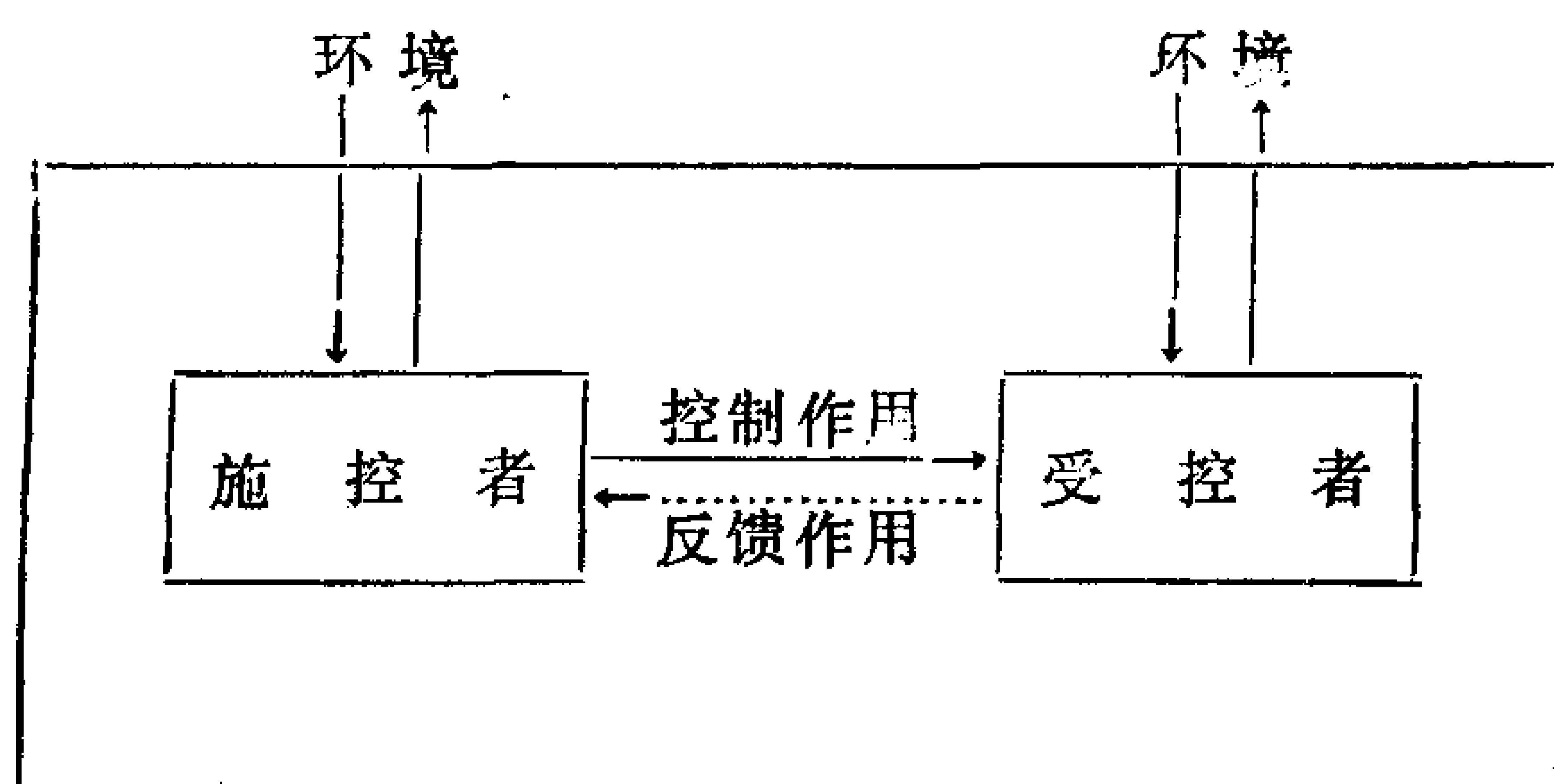


图2—3　控制系统

从图中可以看出，在一个控制系统内，不仅施控者作用于受控者，而且受控者也可以反作用于施控者。前一种作用是控制作用，后一种作用存在时则是反馈作用。此外，作为一个特定的控制系统，总是处于一定的环境之中，控制系统与环境之间也是相互作用的。控制论着眼于从控制系统与特定环境的关系来考虑系统的控制功能。也就是说，控制系统的控制功能是在系统与环境之间的相互作用中实现的。因此，控制系统必然是一个动态系统，控制过程必然是一个动态过程。当控制所要达到的目的是某种稳态时，这种稳态不过是一种动态平衡。所以，控制系统具有动态特性，控制过

程是一个过渡过程。

控制系统根据有无反馈回路，可区分为开环控制系统和闭环控制系统两大类。如图2—4和图2—5所示。

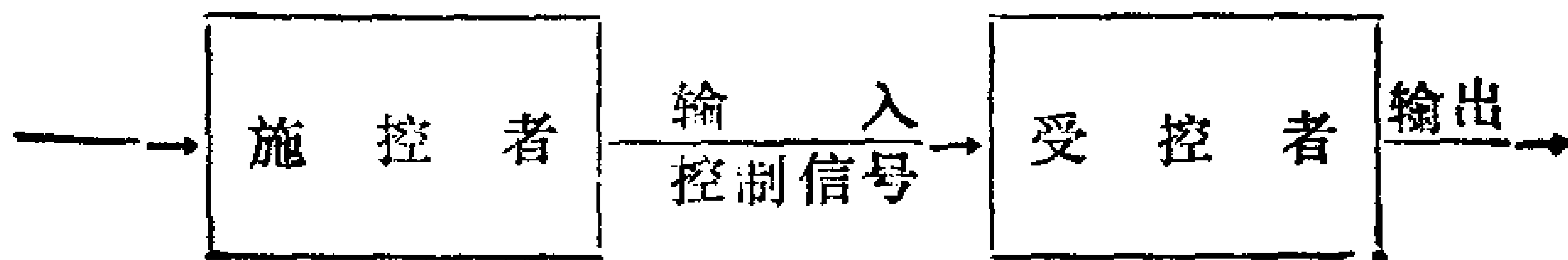


图2—4 开环控制系统

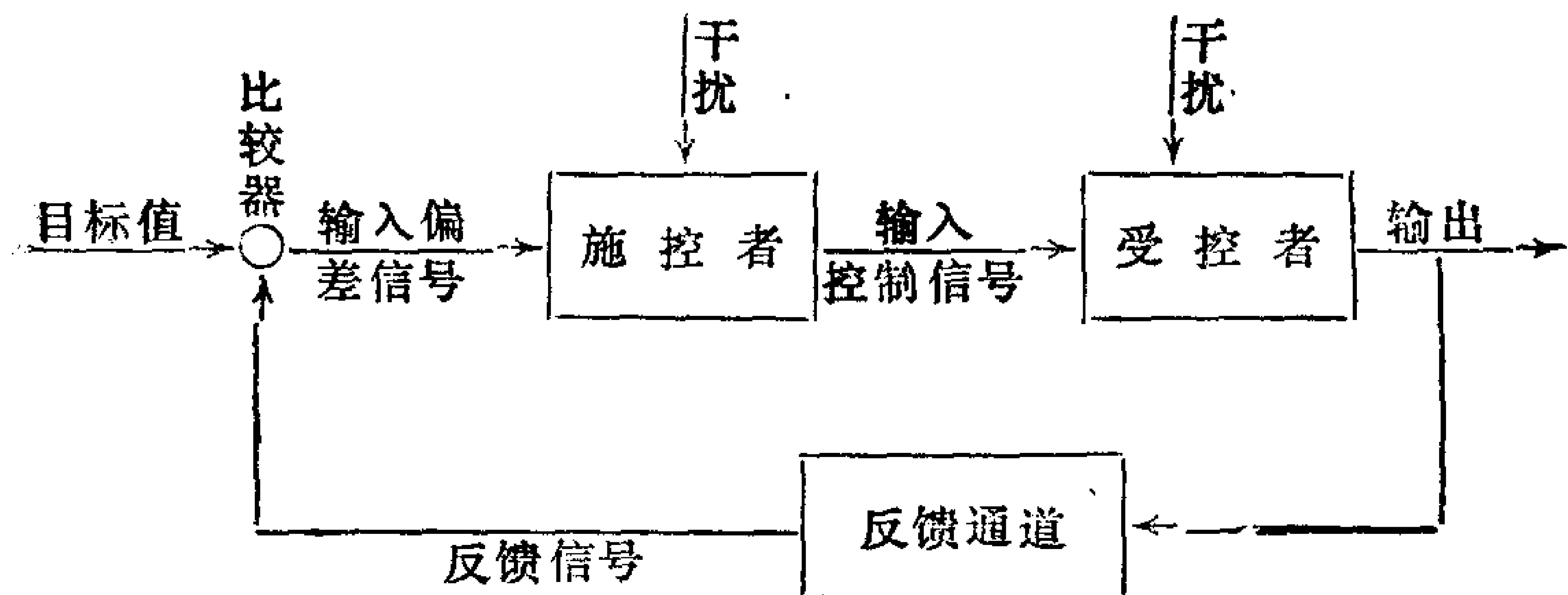


图2—5 闭环控制系统

图2—4是开环控制系统，这种控制系统的输入直接控制着它的输出。它虽然结构简单，成本低，但对环境的适应能力差，只有当外界干扰较小或干扰恒定时，这种控制系统才能正常发挥作用。

图2—5是闭环控制系统，这种控制系统由于带有反馈回路，所以它的输出是由输入和输出的回输共同控制的。当

施控者把控制目标转换成控制信号作用于受控者之后，受控者又把自身的状态（输出）回输到原系统中去，通过输出值和目标值相比较所得到的偏差，来自动调节系统的未来行为，直至实现控制目标。因此，闭环控制系统对环境有较大的适应性。

（二）控制论系统

控制论作为研究系统通讯和控制规律的科学，它的研究对象并不是一切控制系统。从严格意义上说，开环控制系统虽然具有控制功能，但它不属于控制论的研究范围，而属于自动控制理论的研究范围。控制论一般只研究带有反馈回路的闭环控制系统，这就是说，控制论的研究对象并不是任意的控制系统，而只是其中的一类。

列尔涅尔在谈到这个问题时，把控制系统和控制论系统作了严格的区分。他认为控制系统是指客观上存在着控制过程的一切系统。控制论系统则不仅要求这个系统是控制系统，而且还取决于研究这个系统的工作者所持的观点与方法。他说："'控制论系统'这一术语不仅规定了确定的一类系统，还规定了研究这种系统的途径。"①这里所说的"途径"，是指控制论的基本理论观点和方法。意思是说，控制论系统不仅是控制系统，而且是以控制论的基本观点与方法去研究的控制系统。控制论首要的观点是反馈，从反馈的观点说，把控制了解为反馈（负反馈）的调节行为，因而要把控制论系统限于带反馈回路的闭环控制系统，这是控制论系统的基本特点之一。

①列尔涅尔：《控制论基础》，科学出版社，1980年版，第10页。

控制论的另一个重要观点是信息。维纳从控制论的角度提出了信息论（与申农从通讯方面提出信息论得出几乎同样的结论），并把它作为控制论的基础。他认为控制系统也是一种信息系统，因此必须用信息的观点来研究控制系统，这是控制论系统的另一个特点。维纳说过："控制工程的问题和通讯工程的问题是不能区分开来的，而且这些问题的关键并不是环绕着电工技术，而是环绕着更为基本的信息概念，不论这信息是由电的、机械的、或是神经的方式传递的。"①这就是说，控制工程和通讯工程相联系、相统一的基础是信息概念。从信息的观点出发，可以认为控制论所说的反馈是指信息反馈。也就是说，控制论系统中的反馈是指信息反馈，至于反馈信息的具体形式或形态则是次要的。

综上所述，我们可以看出，作为控制论系统，必须至少同时具备以上两个基本特点，或者说满足两个基本条件。这样，我们就可以把通过信息的传输、变换和反馈来实现自动调节的控制系统，称之为控制论系统。如图2—6所示。

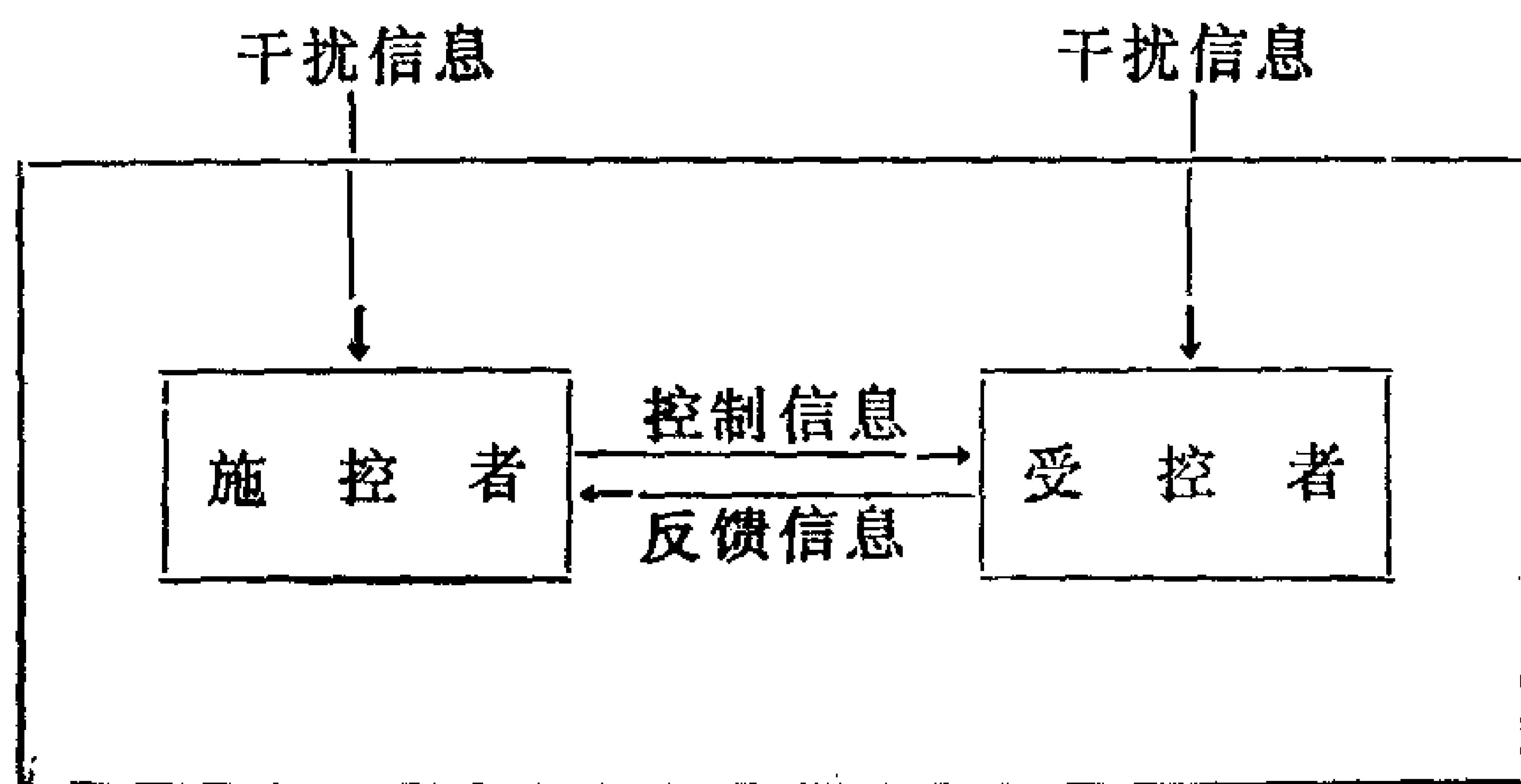


图2—6　控制论系统

①维纳：《控制论》，科学出版社，1963年版，第8页。

从图中所示的过程看，在控制论系统中通讯（信息的传输）和控制（信息的反馈）是不可分的。通讯的目的就是为了控制，要实现控制就必须有信息反馈，从而形成一个闭合回路。没有反馈信息的非闭合回路，不可能实现控制。施控者正是根据反馈信息，才能比较、纠正和调整它发出的控制信息，从而实现控制目的。

四、输入与输出

我们知道，任何系统都是处在特定的环境下，任何系统又都是由若干要素按一定结构组成的有机整体。系统作为统一的整体，必然对外界环境而言具有相对封闭的边界，否则，系统与系统的环境不能区分，这样的系统也就不能控制。但是，任何现实的系统都不是绝对封闭的，而是开放的。系统的开放性集中体现于系统与环境之间的相互影响和相互作用。一般地说，我们可以把环境对系统的影响和作用称为系统的输入，而把系统对环境的反向影响和反向作用称为系统的输出。由系统的输入引起的系统的输出，又称之为系统的行为。

系统和环境之间的相互作用是多方面的，因而一个系统的输入和输出常常不是一个，而是一组。如对一个企业来说，它作为一个开放系统，社会环境、自然环境以及市场情况等等是它的输入；它作为一个经济组织，为了生产的正常进行，投加给它的物资、人员、资金、设备、管理技术手段等等也是它的输入。而反映企业运行状态，行为结果的一切表现，诸如经济效益、社会效益、企业精神等等都是它的输

出。对于一个存在着多输入和多输出的系统来说，应当区分哪些输入对控制目标有决定性的影响，哪些输出是系统功能的集中体现，以便在实际处理系统的控制问题时，把哪些输出作为预期的目标状态，为了实现预期的目标状态，又需要哪些输入。还就企业来说，它作为一个生产单位，必须把产品的数量、质量、品种等输出选定为控制目标，为此而投入的人员、设备、资金以及市场影响等是必须考虑的输入。

在解决具体的控制问题时，系统的输入被分为两大类，即可控输入和不可控输入。所谓可控输入，是指为一定的控制目的，施控者投加给被控者的信息、物质和能量。它们在实施控制时是可以调节的，因而是可控的。可控输入又可简称为输入。所谓不可控输入，是指施控者以外的环境对被控者的影响和作用。它往往是随机的，有时是难以预料的，因而是不可控的。不可控输入又可简称为干扰。在这里，可控和不可控是相对的，它们的区分既与控制目的有关，又与控制手段有关。如果我们把飞行的飞机看作一个系统，那么由飞行员按其意图而进行操纵的方向舵、升降舵、机翼和发动机推力所产生的那些作用和影响就是可控输入。而空气阻力和大气密度对飞行的干扰作用则是不可控输入。显然，无论是可控输入还是不可控输入，都会使系统产生一定的输出，即影响系统的状态。所不同的是，可控输入使系统产生目标行为，而不可控输入则会使系统偏离目标状态。因此，在实施控制时，可控输入的作用有两个：一个是使系统产生预定的输出；一个是使系统克服干扰带来的偏差，排除不符合控制目的的输出。

控制的目的说到底，就是要找出怎样通过输入得到符合

我们愿望的输出。为此必须弄清输入和输出之间的关系，也就是当输入改变时输出变化的规律是什么。这种关系或规律往往可以借助一定的模型，特别是能够进行定量分析的数学模型，求得对系统施加多少输入，系统可作出什么程度的输出。一般地说，我们可以把输入和输出关系归结为因果关系，输出作为结果，必然要求有与之相应的输入作为原因。为了简单直观地说明问题，我们可以把复杂的因果关系，简化为一般的函数关系。如果不考虑干扰因素对系统状态的影响，那么给受控系统（F）施加输入（x），相应得出一个输出（y），F 起到把 X 转换成 Y 的作用。关系式为：

$Y=F(X)$，如图2—7所示。

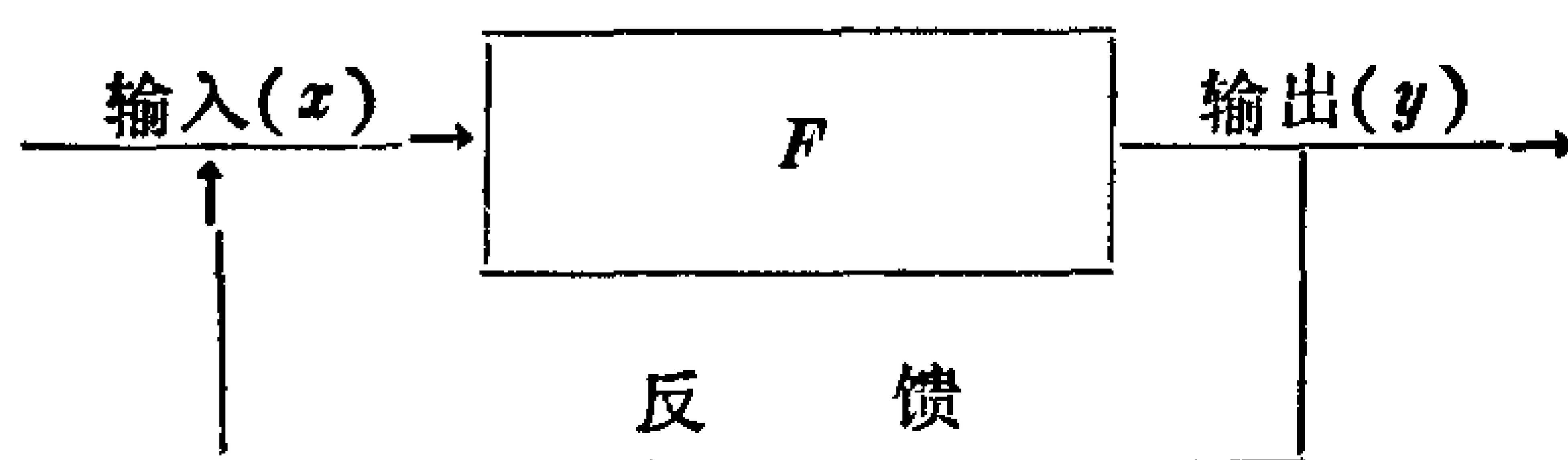


图2—7　系统输入和输出

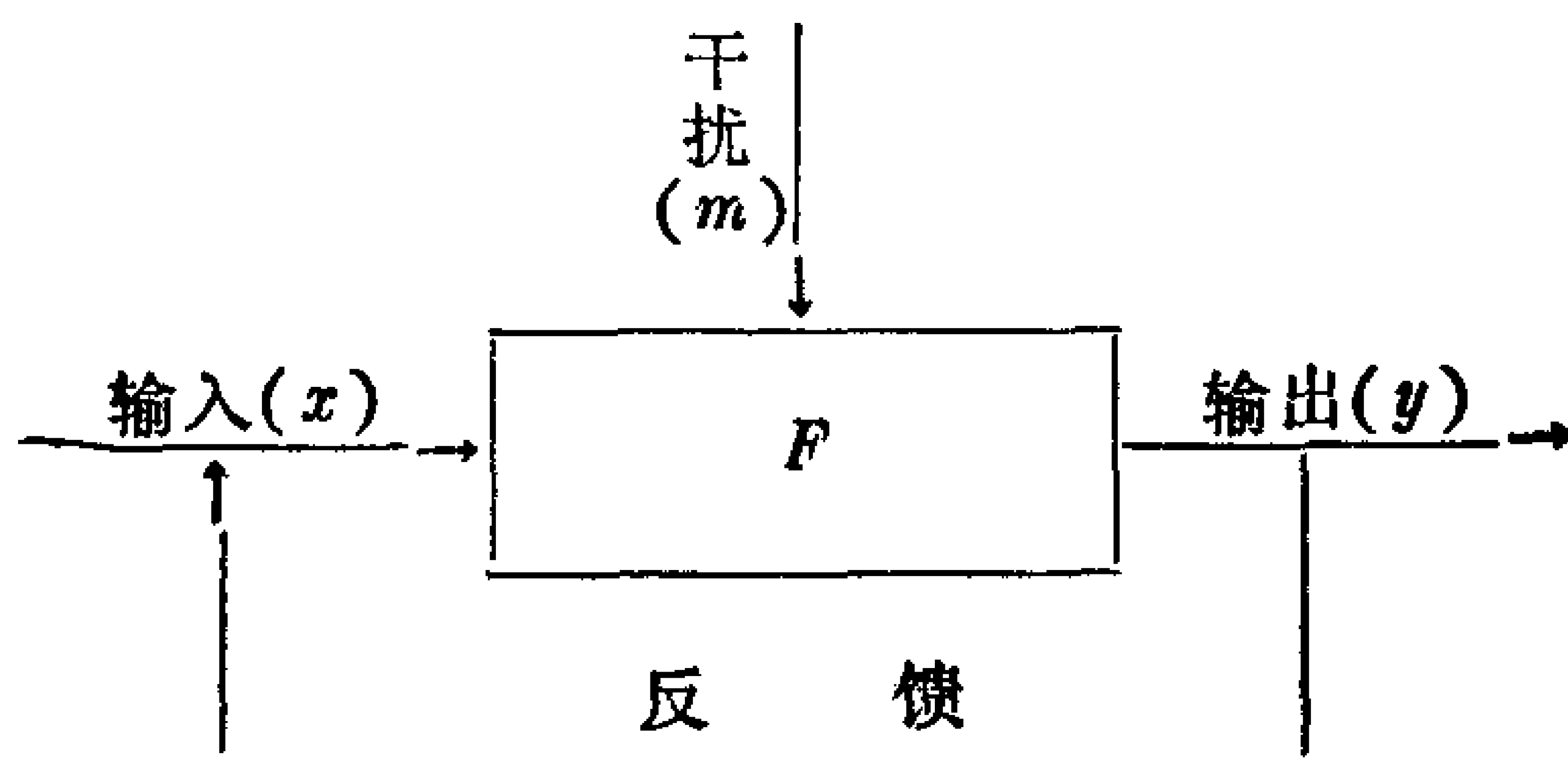


图2—8　系统输入和输出

如果考虑干扰因素（M）对系统状态的影响，受控系统（F）的输出(y)，则是输入（x）和干扰（m）共同作用的结果。关系式为：$Y=F\ (X, M)$，如图2—8所示。

通过阐述输入和输出的上述关系，可以加深对控制过程的理解。即通过输出来观察系统相对于控制目标而言的运行状态，通过调节输入来实现控制目标。

第三章　控制论的基本方法

一、黑箱方法

人类主体对客体的认识和改造，实际上就是主体对客体的控制。这一控制过程，是在主体和客体之间的相互作用中实现的。如果把主体和客体之间的关系问题看作认识论问题，那么，黑箱方法则是控制论的认识方法。

（一）黑箱问题的普遍性

控制论的创始人维纳在《模型在科学中的作用》一文中认为，所有的科学问题都是作为“闭盒”问题开始的。若干可供选择的结构被密封在“闭盒”中，研究它们的唯一途径是利用闭盒的输入和输出。1956年，艾什比在《控制论导论》中对黑箱方法作了比较系统的阐述。他认为，“黑箱问题是在电机工程中出现的。给电机师一个密封箱，上面有些输入接头，可以随意通上多少电压、电击或任何别的干扰；此外有些输出接头，可以借此作他所能作的观察。”①这里所称的黑箱，也就是维纳所称的闭盒。

什么是黑箱呢？黑箱是指人们一时无需或无法直接观测

①艾什比：《控制论导论》，第86页。

其内部结构，只能从外部的输入和输出去认识的现实系统。在现实生活中，有许多客观事物当人们还不可能、不允许或不值得深入解剖其内部细节或不清楚其内部详情时，都可以看作黑箱。比如，车检工人检修车辆，是通过铁锤对车辆的敲打（输入）发出的声音（输出）来判断车轮内部有无故障。中医看病，通过"望、闻、问、切"等外部观测作出诊断，开出处方。有时遇到疑难病症，可以先投给试探性的药物，观察病人的反应，尔后在原来处方的基础上加以调整，再不断从病人的反应中作出诊断，直至抓住主要病症再大量下药。这种从人体输入和输出的"辨证施治"，就是把病体视为黑箱。黑箱问题广泛存在于人们的现实生活中，有些事物我们初看起来不是黑箱，但实际上或在一定意义上仍然是黑箱。艾什比曾举出了一个关于自行车的例子，"我们可能起初会设想自行车不是个黑箱，因为连成它的每个部件我们都能看出来。事实上我们只是自以为知。踏板与轮子的最初联系在于把金属原子聚在一起的那些原子力；而这些原子力我们一点也没有看见。而骑车子的孩子，只要知道踏踏板能使车轮转动就够了。"①黑箱问题更是广泛存在于各门科学之中，科学作为对未知的探索，所待处理和解决的就是黑箱问题。在神经生理学中，人们通过观察动物的刺激和反应来推断其内部的神经结构；在管理学中，人们通过管理系统的投入和产出评估系统的功能；在心理学中，人们通过个体行为以及产生行为的原因，判断心理结构和机制，如此等等。难怪艾什比断言，"所有的事物都是'黑箱'，我们从小到老，一辈子都在跟'黑箱'打交道"。②

①艾什比：《控制论导论》，第110页。
②艾什比：《控制论导论》，第86页。

在这里，黑箱、系统、客体都是等价的概念。现实的系统作为认识的客体之所以被称为黑箱，是因为对于人类认识的相对性来说，永远不可能穷尽事物的一切本质。在人类认识的一定阶段上，任何客体总有许多情况是人们不曾了解的。这些尚未被认识的东西，如同装在一个既不透明又严加封闭的箱子里，一时无法（或无需）进行直接观测，人们只能在系统之外进行研究。正是在这种意义上，控制论把人们认识和改造的对象称为黑箱。

既然黑箱是相对于人这个认识主体而言的，那么，被考察的对象能否作为黑箱来看待，这不仅取决于对象客体本身的性质，更重要的是取决于认识的主体。由于认识主体的知识结构、技术经验以及认识目的不同，对于同一个客体来说就有一个知与不知、知之不多或知之甚多的问题。如果对一个确定的考察对象一无所知，那么它就是"黑箱"；如果既不是一无所知，又不是无所不知，那么它就是"灰箱"；如果认识达到了无所不知，那么它就是"白箱"。如一台电视机，对于外行人来说，只会看电视节目，对其内部结构和机理并不了解，则是黑箱；还有些人对电视机略知一二，但又不完全了解，则是灰箱；对于电视机专家而言，则是白箱。可见，黑箱概念是相对的。这种相对性还表现在随着科学技术的进步，认识手段和认识能力的提高，许多原先是黑箱的事物可以转化为灰箱，乃至白箱。

（二）黑箱方法的步骤

控制论的贡献不在于把一无所知的系统视为黑箱，而在于它提供了认识黑箱的方法，即黑箱方法。所谓黑箱方法，就是采用不打开系统"活体"，仅从系统的整体联系出发，

通过系统的输入和输出关系的研究，去认识和把握系统的功能特性，探索其结构和机理的研究方法。

黑箱问题的普遍性，决定了控制论的黑箱方法是人类认识世界和改造世界普遍有效的方法。黑箱方法的应用，可以简化为以下基本步骤：

1. 建立主体和客体的耦合系统

要建立主体和客体的耦合系统，必须做好这样两项工作：

首先用相对孤立的原则确认黑箱。由于黑箱系统和外部环境处在相互联系之中，因而必须根据研究目的和认识任务，划定作为黑箱的研究对象和周围环境的边界，把作为黑箱看待的研究对象从环境中“分离”出来，使它成为一个相对孤立的系统。

其次使主体和客体耦合起来。耦合就是相互作用。主体和客体的相互作用，可以归结为两部分。一部分是主体对客体的主制作用，即主体对客体施加的各种影响和作用。它们反映在客体的输入中，可称为这个客体的可控制变量。另一部分是客体对主体的反作用，即客体接受主体作用之后作出的反应，是客体对主体的反向影响作用。它们反映在客体的输出中，被称为可观察变量。这样主体和客体就构成了有反馈的耦合系统。如图3—1所示。

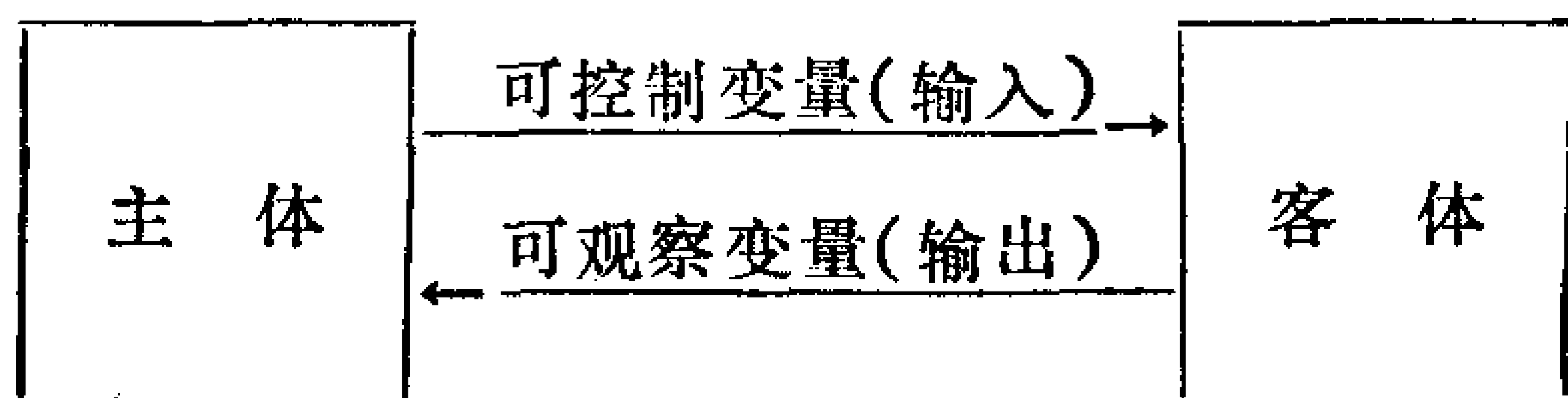


图3—1 主体和客体的耦合系统

2. 通过输入和输出主动考察黑箱

在主体和客体的耦合系统中，通过控制变量，主体对客体实施控制，创造客体变化的条件；通过可观察变量，主体对客体进行观察，了解客体的状态和变化。可见，这个耦合系统，为人们通过输入和输出主动考察黑箱创造了条件。

我们知道，现实的系统可能有多种输入，即试验主体用以影响客体可能的方法有多种，如锤打、电击、照射等。同样，客体的输出也可能有多种，如客体事物的形状、温度、振动次数等状态的变化，可以借助一定手段记录或观察。要主动考察，就必须规定输入和输出的具体内容，如输入用锤子打击客体，输出用仪表记录形变。这一步骤正反映了人的认识过程的能动性和目的性。可见，主动考察实际上就是考察主体对客体施加某种典型输入，然后观测其输出反应，取得输入和输出两组数据，作为认识客体黑箱的根据。

3. 建立模型辨识黑箱

在获得了关于黑箱客体的大量输入与输出的数据后，往往还不能直接说明黑箱，因而必须对获得的数据进行综合整理，以排除试验过程中出现的特殊状态。如状态记录中只出现过一次，不管怎样调动输入都不能再出现的状态，即可作为特殊状态加以排除。根据整理后的数据，建立关于阐明黑箱的模型。假如我们把黑箱的输出Y看成是输入X的函数，那么可得出$Y=f(X)$。这样，只要我们根据所掌握的输入和输出的数据，确定了输入X和输出Y之间一一对应的函数关系，我们就可以依靠这种数学模型来确定给黑箱一个适当的输入，从而得到所需要的输出。

需要注意的是，在黑箱方法的实际运用中，情况往往比我们为直观地说明问题所列举的情况要复杂得多。如果黑箱

的输入和输出不是单值可以确定的，这就必须采取更为复杂一些的办法。或者不断改变输入，多考虑一些变量，从中发现输入与输出的确定关系；或者不找严格的确定关系，而去找统计的确定性。数学模型故然是阐明黑箱较理想的模型，但是由于黑箱的输入和输出的复杂性和不规则性，建立典型的数学模型往往是困难的。所以，除了采用数学模型外，还应采取其他模型。如输入和输出值表格、动态曲线、框图以及各种物理模型等。凭借模型，可以探讨黑箱系统的功能和特性，进而对其内部结构和机理作出某些推测，达到对系统辨识的目的。

（三）黑箱方法的意义

控制论的黑箱方法是一种崭新的认识论方法，是科学方法论的突破。黑箱方法在现代科学技术和社会实践诸方面得到广泛的应用，显示了越来越大的作用。

首先，黑箱方法是研究结构复杂巨系统的有效工具。这类系统被人们称为特大系统，又叫特大黑箱。它的系统内部不仅变量数目众多，而且相互关系错综复杂，即使打开了黑箱，也往往只能从某一个局部来观察。采用黑箱方法，反而有利于从整体的角度，综合全局来考察问题。例如，一个联合企业，一个经济部门，或者整个国民经济这样的巨系统，往往难以考察内部的经济结构和具体工作过程，这就迫使人们从系统整体的输入和输出入手，建立投入产出模型，通过模型来评判其功能的好坏，并且以此作为上级管理机构进行全局调度、运筹控制的根据。

其次，黑箱方法是研究生命系统的主要方法。生命系统具有高度的组织性和活动性，是活生生的有机体。一旦采用

解剖的方法打开黑箱，系统的结构就会受到干扰，整体功能就会受到破坏。例如，人脑就是这样的系统。它由约150—160亿神经元组成，每个神经元又有100—1000个突触，人类共约200—300种不同类型的神经元。每一种神经元都能进行复杂的信息处理，从而使大脑作为活体具有思维的功能。如果用解剖方法将活体变成死体，生命停止了，思维功能也就不存在了。因此，只能用黑箱方法，通过输入和输出的分析，来了解和认识大脑的思维功能。由于黑箱方法具有不破坏活体结构，不干扰生命活动等特点，因而成为研究生命科学的重要方法。

再次，黑箱方法是研究尚不能打开系统的唯一手段。要研究至今为止人类尚不能打开的系统，黑箱方法是唯一的手段。例如，人类对地球结构的探索。迄今人类还不能直接观察地心深部的情况，为了解地球内部状态，如果采用钻机打洞的办法，充其量只能取到几十千米深处的岩石样品。这对于半径为6000多千米的地球来说，只不过触及了一点皮毛，地球是一个远未被打开的黑箱。那么人们是怎样知道地球深部有地幔、地核等结构的呢？人们只能借助地球表面的一些输入和输出变量来研究地球，如地磁、地电、地变形、地球化学、超声波等方法。人们通过这些变量数据的观察和分析，建立了关于地球深部情况的模型，这是一种典型的不打开黑箱的方法。

总之，在人类认识的任何阶段，都不可能通晓事物的一切内在联系。人类总是面对着一个庞大的未知王国。所谓打开黑箱，在任何场合也只是打开其中的某一层次。事物本质的层次性，决定了事物的黑箱总是一层套一层，永远不会完结。黑箱永远有，白箱永不白，这是艾什比反复阐述过的思

想。这就是说，在任何时候，人们总得采用不打开黑箱的方法研究事物，解决问题。因此，控制论的黑箱方法，在人类认识的任何阶段，都不失为一种重要的实践手段。

二、功能模拟方法

控制论把模拟方法发展到功能模拟的新阶段。功能模拟方法是模拟方法的高级形式，它集中体现了控制论的思想特点。功能模拟方法既是控制论的基本方法，又是具有相对独立性的科学研究方法。

（一）模拟方法的历史发展

模拟方法简单地说就是用模型模仿原型的方法。模拟方法随着人类实践活动的深入和科技水平的提高而不断发展，发展的谱系如图3—2所示。

这些模拟方法的具体形式，在人类认识的不同阶段产生，在不同的条件下应用，在生产和科研中发挥着不同程度的作用。纵观模拟方法的历史发展，大体经历了以下三个阶段：

第一阶段，从直观模拟到机器（或技术）的仿制。模拟方法的萌芽或雏型，可以追溯到遥远的古代。早在人类社会的初期，我们的祖先在长期利用木棒和天然石料同大自然作斗争时，把那些锋利的石块和好用的木棒辨认和选择出来，制造出第一批原始工具，从而开始了最初的直观模拟。

直观模拟是人类最初对自然物的形态的简单模仿。这种模拟主要是模仿自然物的几何形状以及由这些形状产生的某

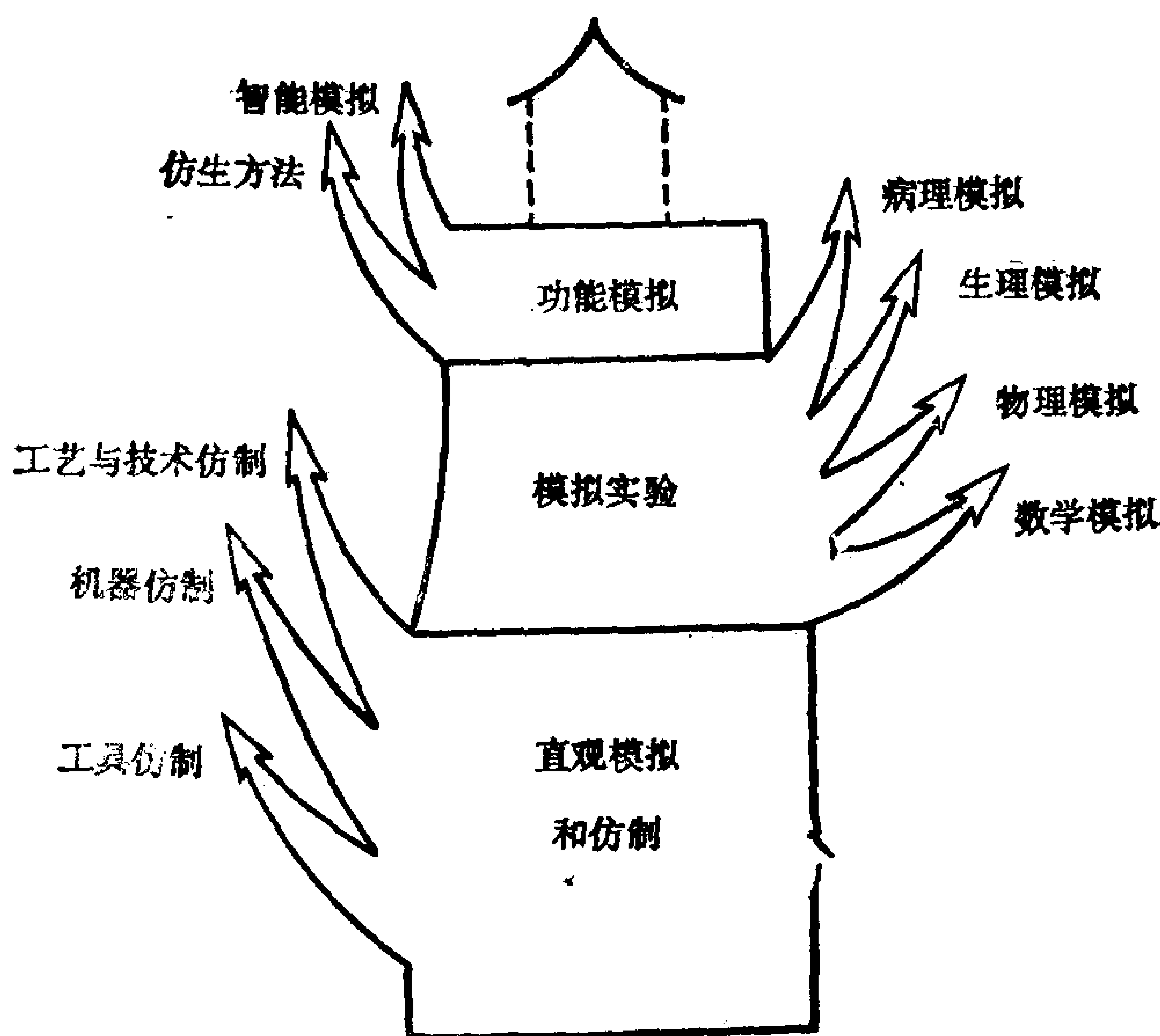


图 3—2　模拟方法生成树谱系图

些功能。可以说，类似这样的模拟是模拟方法的最初形式。相传我们的祖先"见飞蓬转而知为车"，即看到随风旋转的飞蓬而发明轮子，作成装有轮子的车；鲁班通过对茅草的模拟发明了锯子；古人对动物角的模拟产生了剑，对鱼刺的模拟产生了骨针、竹针，后来的金属针则是它的改进形式。正是这样大量地对自然物的模拟，人类才由利用自然工具过渡到人造工具阶段，这种转变具有划时代的意义。正如毛泽东所说的，'人猿相揖别，有几个石头磨过"。人造工具的出现，使人类最终脱离了动物界，开始了人类生活的历史。也正是借助这种模拟方法，人类发展到对人造工具进行仿制和

模拟。对人造工具的模拟，逐步地使作为实践手段的工具多样化和完善化。随着工具向机器的转化，工具的仿制方法又进一步发展到机器、工艺技术的仿制和模拟。在18世纪和19世纪的两次工业革命中，使蒸汽机和电力机械迅速普及的一个重要原因，是机器及工艺技术的仿制与模拟方法的使用和推动。

第二阶段，在实验科学基础上发展起来的模拟实验方法。随着近代实验科学的产生和发展，模拟方法进到一个新的发展阶段。模拟方法并不局限于对自然物或人造工具的仿制，而且为科学研究提供了主要的实验方法——模拟实验。模拟的目的不仅是仿制与原型相似的产品模型，而且是把建立模型作为认识原型的重要手段。在科学实验中，或因某一自然过程时过境迁（如生命的起源），或因某一过程范围广大，因素众多，关系复杂（如大气环流）；或因工程实施危险、不经济等等客观条件的限制，无法对某些现象和过程进行直接实验。于是，必须采用模拟实验方法——先设计与某一自然现象或过程（即原型）相似的模型，然后通过模型间接地研究原型的规律性。可见，模拟实验是一种间接实验方法。

模拟实验方法包括物理模拟、数学模拟、生理模拟、病理模拟等方面，这些模拟方法在科学研究和生产实践中发挥了巨大的作用。比如，在许多大型的复杂工程，象大型电站、大型水库和堤坝以及飞机、轮船、火箭的设计中，运用模拟实验和计算，可以预先发现问题并得到及时纠正和改进。在许多对人体有着严重危险的领域，用模拟实验可以避免危险事故的发生。如用狗的行为作为模拟模型代替人去进行宇宙航行探险，用动物的病理模型进行各种医学研究的实验等

等。模拟实验不仅可以确定相似现象的基本性质、必要和充分条件，而且还可以定量地设计模型，并把模拟实验的结果定量地推广到原型中去。

第三阶段，控制论中的功能模拟方法。上述的模拟方法，不论是对自然物的模仿或人造工具的仿制，还是对近代科学的模拟实验，都有极为严格的运用条件。只有模拟模型与对象原型在结构或过程具有相似性时，传统的模拟方法才是适用的。如人类最初对天然木棒模拟产生的长矛和梭标，是因为它们具有相似甚至相同的几何形状。用狗或其他动物代替人去从事危险领域的活动的模拟，是因为两者具有相似或相同的结构。可见，这类模拟方法是以认识了原型事物的结构及其运动过程为前提的，失去了这个条件，传统的模拟方法就会失去意义。因此，在对象的物质结构以及内部关系尚不清楚的条件下，这类模拟方法就暴露出它所固有的局限性。

在人类尚未弄清动物行为的内部机制之前，如何用机器模拟动物的行为呢？法国的科学家和哲学家笛卡儿与拉·美特利，都曾把动物乃至人简单地看作是机器，认为人的行为不过是“齿轮和发条的作用”，只要一个个地制造出这些齿轮和发条，就可以组装出一个人来。这种观点虽然带有浓厚的机械论色彩，但在客观上启发了人们的联想力。维纳等人大胆地抛弃了把动物和机器相等同的观点，保留了动物和机器相类比的旧形式。借助这一形式，抛开机器和生命机体的不同的物质基质和结构，只在行为和功能方面寻找二者的统一性和相似性，从而创立了控制论这门新科学。控制论的创立，既得益于传统类比和模拟方法的启发，同时又把传统的模拟方法发展到功能模拟的新阶段。

（二）功能模拟方法的特点

维纳在创立控制论时，为解决战争中的自动防空系统问题，就想对机器、动物和人等系统，在不考虑其内部物质、能量、结构等情况下，只考虑整个系统在行为和功能上的等效性，来解决机器模仿生物体运动的功能问题。为了解决这个问题，维纳等人从功能角度把生物系统和机器系统进行类比，撇开了机器和动物系统的不同物质基质和具体的运动形态，把它们所共有的特征——信息变换和反馈机制抽象出来，并把它们运用到技术系统中去，借以实现人们所希望的目标，从而形成了独具风格的功能模拟方法。所谓功能模拟方法，就是以功能和行为相似为基础，用模型模仿原型的功能和行为的一种方法。

功能模拟方法主要有以下几个特点：

1. 功能模拟只以功能和行为相似为基础，所模拟的是一切具有通讯和控制功能系统的合乎目的性的行为。这里的"通讯和控制功能系统"，就是指控制论系统。从控制论角度说，机器、动物、肌体以及人类社会等系统，虽然在物质基质、结构和具体运动形态上各不相同，但它们之间存在着行为和功能的相似性，即通过信息的变换和反馈机制，自动调整自身的运动，以适应环境的变化。因此，这类系统都可以从通讯和控制方面用模型模仿原型。比如，对生物界的生物个体在亿万年进化过程中，所形成的许多优化的导航、识别、计算等特异功能，都可以用现代化技术所制造的许多工具、机器、仪器以及设备去模拟。尽管它们的内部结构和运动过程截然不同，但在客观上可以使它们具备共同的功能。

2. 在传统模拟中，模型只是认识原型的手段；在功

能模拟中，模型是具有生物目的行为的机器。例如，由监视雷达、防空导弹和电子计算机组成的防空系统，它的控制过程与一个猎手狩猎行为相似，因而可以把它看成是对猎手狩猎行为的模拟。首先由监视雷达对目标物进行搜索和跟踪，把跟踪误差转换成目标物的坐标信号输入计算机，经过计算机的加工、处理，变换成发射指令，指挥导弹发射系统进行导弹发射。导弹发射后，由截听装置把导弹运行的反馈信号再送入计算机，以控制导弹按预定方向飞行，直至击中目标。如果把导弹防空系统（模型）和猎手狩猎（原型）作比较，那么就可以发现它们都具有自动搜索和跟踪目标的功能，都能按预定目的动作，即合乎目的性，最终都以一定的动作或行为达到打击目标物的目的。这说明具有生物目的行为的机器或机器事物构成的系统，作为模型已不仅是认识原型的手段，而是用以代替原型去执行某些功能。甚至通过功能模拟，探求比某些原型更好、更快、更准确地履行相应功能的技术装置，因而模型本身就是研究的目的。

3. 功能模拟借助黑箱方法，从功能上描述和模仿系统对环境影响的反映方式，一般无需分析系统的内部机制和个别要素，不追求模型的结构与原型相同。一般地说，采用功能模拟方法是因为不认识或不完全认识研究对象的结构，才从功能研究入手的。这种方法实际上是把研究对象作为一种黑箱。因此，它所提出的问题不是“这是什么东西”，而是“它能做什么”，即着眼于功能的相似性。以功能的相似认识为条件的功能模拟，巧妙地回避了传统模拟以对象结构和形状相似的要求，不去追求模型与原型的结构相同。它改变了传统的模拟方法以结构与功能严格对应的相似性的理论基础，表明相同的功能可以在不相同的物质结构中实现。功能对

于结构来说具有相对的独立性，因而为人类利用结构不同的物质去实现相同的功能提供了有力的方法。按照功能模拟的要求，人们无需严格地按照原型的结构和外形制造同样的各种技术装置。我们常说的机器人，并不要求其外形一定象人。所以叫机器人，更多的含义是指在行为和功能上能模仿人的行为与思维。比如说，一部具有识别图像、辨别气味的智能计算机，就是一个不会走路的机器人。能自动跟踪和寻找目标的宇航器，就是一个飞行机器人。新一代人造地球卫星，可以代替人做大量的数据处理和分析工作，也是智能机器人。随着智能机器的研制和完善，又会把功能模拟推向智能模拟的新阶段。

（三）功能模拟方法的意义

功能模拟方法使模拟由单纯认识原型的手段，发展成为改造世界的直接手段，这一点具有重大的理论意义和实践意义。

1．功能模拟开辟了向生物界寻求设计思想的新途径。千奇百态的生物界，经过亿万年漫长的进化过程，使生物个体具有精湛的结构和高效的技能。各自形成了多样化的高效率的导航、计算、识别以及信息转换系统。这些经过自然优化了的生物功能，为现代科学技术的发展提供了大量令人寻味的技术原型，使人们自然地把寻找新技术原理和方法的注意力转向了生物界。

控制论突破了机器和生物的界限，为机器与生物之间进行功能模拟提供了理论根据，为用精确的物理技术科学的方法、工具研究和模拟生物现象的仿生学奠定了科学基础。

例如，苍蝇的眼睛是由4000多个小单眼组成的，分辨率

极高。模拟苍蝇眼睛的蜂窝型的特殊结构，已经制造出蝇眼式照相机。镜头由1329块小透镜粘合而成，一次可以拍摄1329张照片，分辨率达每厘米4000条线。人们还研究和模拟能够嗅出200万种不同气味的狗鼻子，制成了电子警犬，用来检验和测定各种不同气味，用于仓库、油库、工厂、手术室等进行气味检测。这种“电子警犬”，某些方面甚至比狗的嗅觉还要灵敏得多。

2. 功能模拟为人工智能的研究提供了有效方法。我们知道，智能是高度发达的物质——人脑的特殊机能，它集中表现为记忆、判断、推理、选择、演算……等思维活动。人脑是一个极为复杂的系统，如哈贝尔所说，其复杂程度“在整个宇宙没有什么已知的东西可与之比拟”。①控制论创立者们正是运用功能模拟法，制造出电子计算机（电脑），使电脑代替人脑的部分思维活动成为现实。具体地说：(1)用输入装置模拟人的感觉器官，以接受外部信息；(2)用存贮器模拟人脑的记忆功能，将外来信息记存下来，并可供随时选取；(3)用运算器模拟人脑的判断、选择、计算功能；(4)用控制器模拟人脑在整个思维过程中指挥各部件协调一致的工作；(5)用输出设备来模拟人对外界环境的反应，可以输出计算结果或与外部设备联接，指挥别的机器动作。把这五个部件联成一个整体，就是目前常用的计算机。

计算机不仅可以模拟人类的某些逻辑推理的功能，而且还可以模拟类似人们的决策和计划的行为。此外，还可以模拟人的多种智能活动和行为，如识别图像、分辨声音、嗅别气味、辨别真假导弹头、判断含油地层、寻找电子设备的故

---

①参见《科学》中译本，1980年第1期，第2页。

障以至根据脑电图、心电图等信息模拟医生诊断疾病等。利用功能模拟而制造的机器人，可以代替人在危险环境和有害环境下操作。目前机器人已在宇宙空间、深海水下、放射性污染区、高温高压、真空等恶劣环境下从事某一特定的工作。随着控制论向智能科学的发展，将促进计算机向智能机发展，工业机器人向智能机器人发展，进而成为自学习、自组织、自修复、自繁殖的智能机器。

3．功能模拟的发展必然带来认识和实践手段的新飞跃。在人类认识和实践的历史发展中，认识和实践的唯一主体是人脑。人们虽曾借助这样或那样的工具认识世界和改造世界，但主要的还是“延长”人的感官，只是在感性阶段发挥作用。随着功能模拟向智能模拟的发展，智能机器的不断完善和广泛运用，必将带来认识和实践手段的质的飞跃。智能机器作为人脑的自然“延长”，不仅在认识活动的感性阶段充当人工认识器官，而且已经跨入人类认识的理性阶段，并无限地逼近人类智能。它带来人类认识能力的突破性发展，使人类认识跃进到现代科学认识的新阶段。正是基于这一点，哲学理论界的部分同志预言，在人脑这一自然认识主体的基础上，将会诞生或形成新形态的认识主体——“人——机系统认识主体”。人——机认识系统作为一个统一的认识主体，使人类有可能借助于高速、巨量、精确的自动化信息处理机和智能控制机，使人的认识真正由定性过渡到定量，由研究简单的客体过渡到研究复杂系统，由宏观向两极扩展到微观和宇观等更深的层次。随着智能机器的广泛运用，“自然认识主体”会在更大范围内被“人——机系统认识主体”所取代，从而把人类认识推进到一个崭新的境界。

三、反馈方法

控制论是研究具有通讯和控制功能的系统，通讯的目的是为了控制，要实现控制就必须有反馈。因此，反馈既是控制论的一个基本原理，又是控制论的一种重要方法。

（一）反馈概念的历史演化

反馈（又称“回输”或“回授”），作为现代科学技术中的一个重要概念，经历了一个漫长的发展演化过程。反馈概念萌芽于技术经验，形成于电子学，在控制论中得到发展和完善，并为上升到哲学范畴奠定了基础。

反馈概念的原始思想，虽然可以追溯到古希腊的“驾船术”，但在漫长的手工劳动过程中并没有形成反馈概念。反馈概念的雏型，产生于机械自动控制的技术经验。早期的自动装置往往比较简陋，真正对反馈控制理论的产生具有前驱作用的技术装置，严格地说是随着资本主义社会的形成和发展而出现的。在资本主义的早期，最有代表性的自动装置是钟表和磨。马克思在1863年1月28日给恩格斯的信中写道：“从十六世纪到十八世纪中叶，即工场手工业从手工业一直发展到真正的大工业的时期，在工场手工业内部为机器工业作好准备的有两种物质基础，即钟表和磨。”① 它们是应用于实际目的的自动机器。就磨来说，当时已经由手推磨改进为风力或水力磨。为控制进磨口的粮食流量并保持磨出的面粉的

---

①马克思：《马克思恩格斯书信集》，人民出版社，第145页。

质量，人们发明了装在磨上的震动器。如图3—3所示。当磨

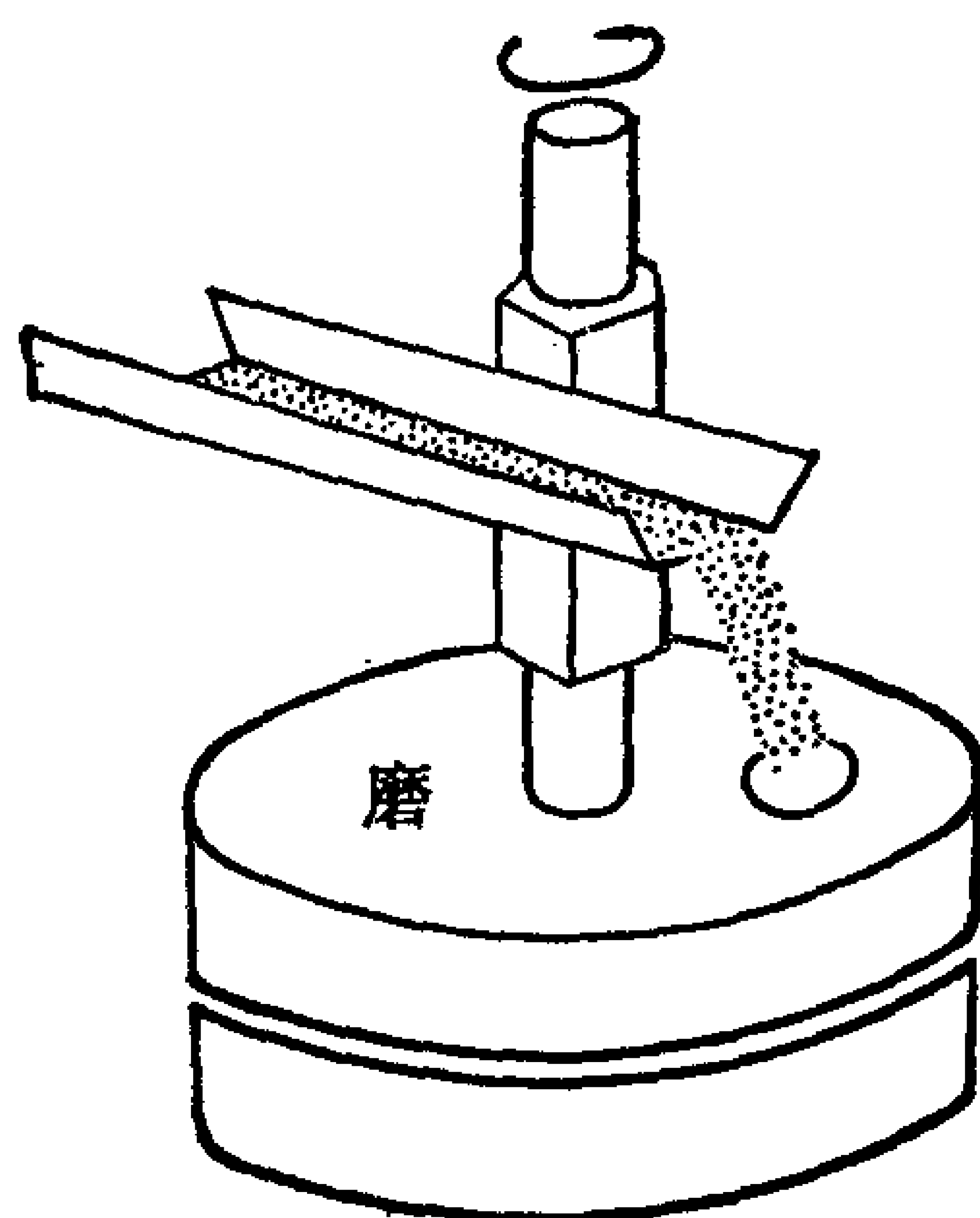


图 3—3 震动器

盘转快时，其接合棱也转得快，送进磨口的谷粒增多，负荷和摩擦力随之加大，磨的转速就会减慢；当磨的转速减慢，送进磨口的谷粒减少，摩擦力减弱，磨的转速又会加快。这样循环往复的自动调节，使磨的转速基本保持恒定。在这里，反馈的基本思想是，以输出的结果（磨的转速的改变）返回来影响输入（进入磨口粮食的多少），以保持系统的稳定状态。输入和输出之间形成的因果相互作用，就是反馈概念的雏型。

到本世纪20至30年代，人们为解决无线电通讯技术中遇到的“信息传输”问题，反馈思想又被引入无线电技术，形成电子学的一个重要概念。这里的反馈，就是在电路中把输出端能量的一部分，回授给输入端的过程。如果通过反馈使

输入信号强度增大，则称为“正反馈”；如果通过反馈使输入信号强度减弱，则称为“负反馈”。正反馈的功能是使振荡器产生振荡，负反馈的功能是使电路工作稳定，减少失真。可见，在电子学中已经形成了比较完整的反馈概念。

战后控制论的创立，使反馈概念又扩展为控制论的一个基本原理。在控制论中系统的控制过程，就是通过信息的传输和反馈以实现系统有目的的活动的过程。有反馈，至少是双向通讯。就是说控制部分既有控制信息输入到受控部分，受控部分也有反馈信息返送到控制部分，形成闭合回路。没有反馈信息的非闭合回路，不可能实现控制。控制部分正是根据反馈信息才能比较、纠正和调整它发出的控制信息，从而实现控制的。如为控制弹道导弹按预定轨道飞行，控制器作为控制部分，按照存贮器存贮的给定状态信息，转换成控制信息作用于受控部分，即控制导弹的飞行状态，并把控制结果（真实状态信息）反馈给控制器进行比较，根据真实状态和给定状态的偏差，调整控制信息以达到预定目的。如图3—4所示。

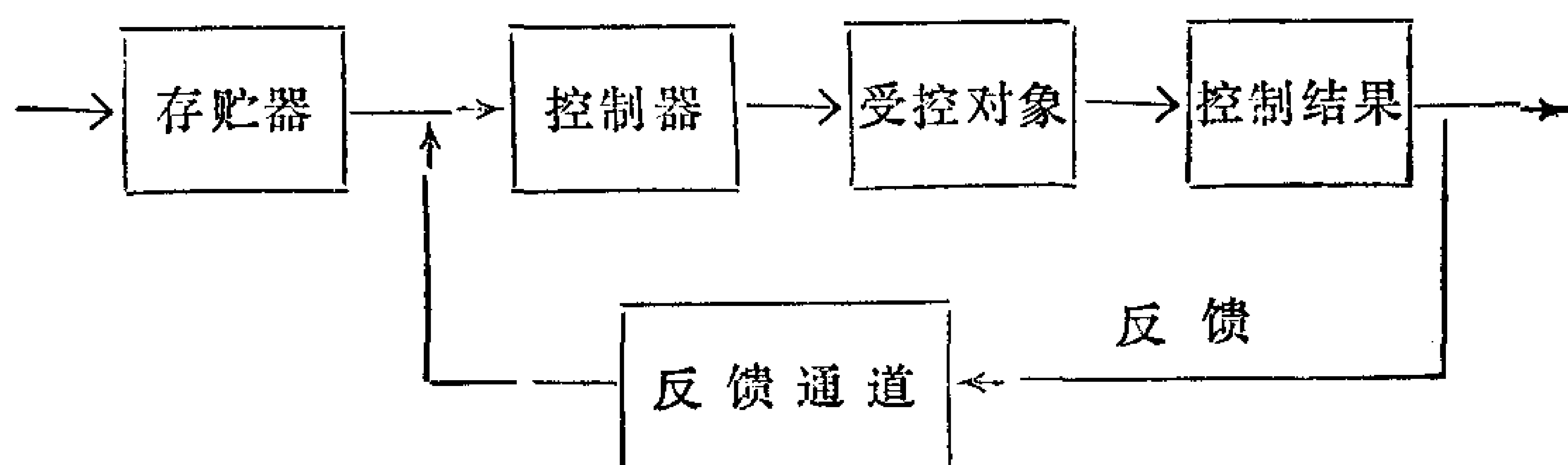


图3—4 反馈控制系统

控制论的诞生，虽然把反馈概念提高到一个新高度，但

它仍属于一个具体科学的概念。随着控制论的发展，特别是生物控制论、神经控制论、社会控制论等新学科的产生以及信息和系统科学的兴起，反馈概念又被涂上了浓厚的哲学色彩，越来越证明反馈原理是自然、社会和思维中普遍起作用的原理。

事实上，反馈控制是一切客观事物相互作用的一种普遍形式。可以说，没有反馈，就没有各种自动调节和自动控制系统；没有反馈，就没有动植物的生长发育和高级动物的目的性活动，更不会有人的理性思维；没有反馈，社会的一切经济、政治、军事活动，都将陷入混乱状态。总之，没有反馈，客观事物就难以存在和发展，人类也就失去了对自然、社会和思维的控制能力，整个世界就会处于混沌和混乱之中。可见，反馈比其他的科学概念有着更大的适用性。也就是说，反馈概念作为一个哲学范畴，已获得了现代科学的佐证。

（二）反馈方法的基本内容

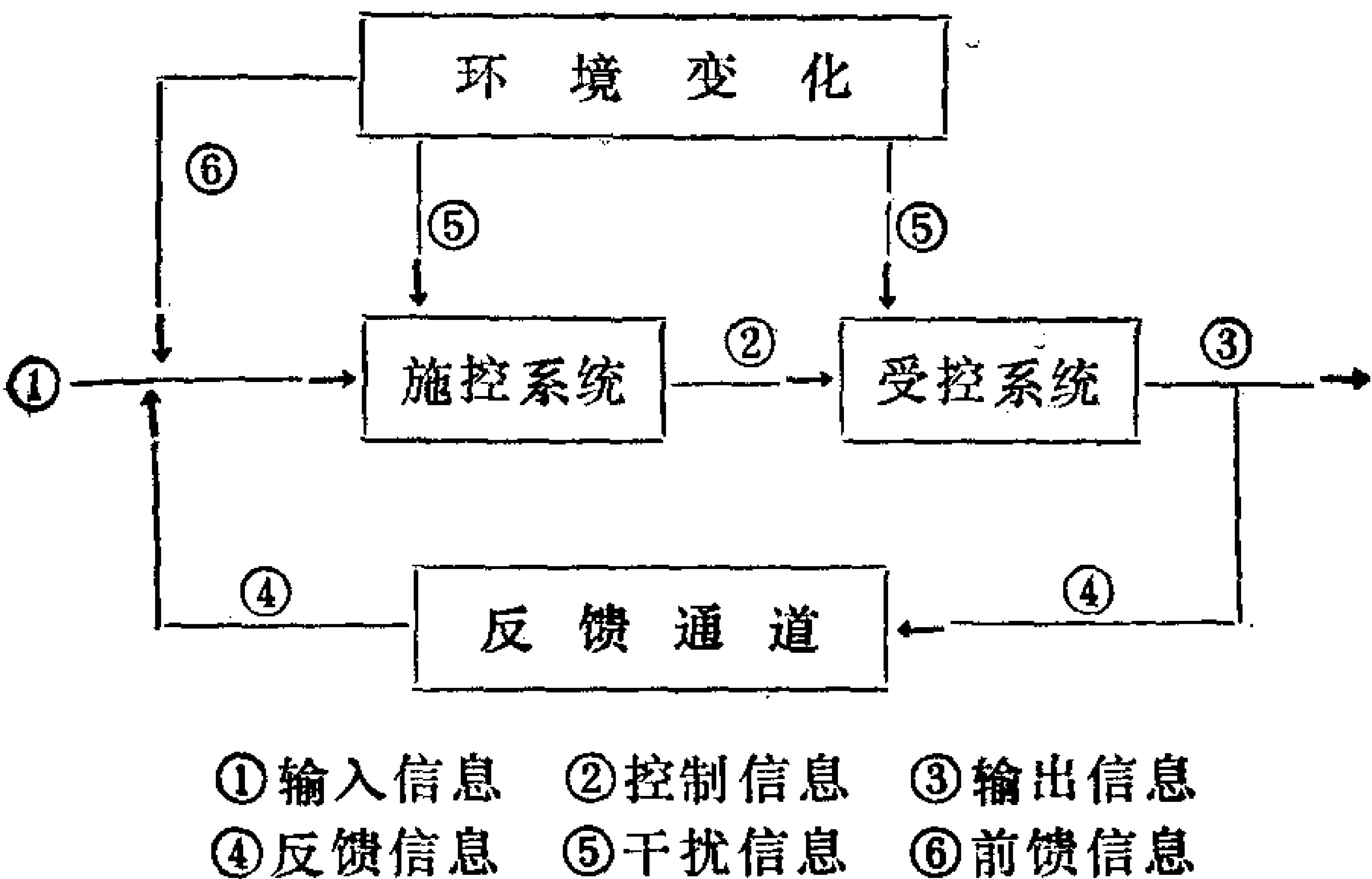
控制论的创始人维纳曾明确指出："反馈是控制论的一种方法，即将系统以往操作结果再送入系统中去。"① 它的特点是"根据过去的操作情况去调整未来的行为。"②这种以系统活动的结果来调整系统活动的方法称为反馈方法。反馈方法又称反馈控制方法。

任何控制系统，特别是人工控制系统，都是由施控系统和受控系统两个子系统构成的。其反馈控制过程是：施控系统将输入信息变换成控制信息，控制信息作用于受控系统后

①维纳：《维纳著作选》，上海译文出版社，第18页。

②同上，第49页。

产生的结果再被返送到原输入端，并对信息的再输出发生影响，起到控制作用，达到预定目的。如图3—5所示。



①输入信息 ②控制信息 ③输出信息
④反馈信息 ⑤干扰信息 ⑥前馈信息

图3—5 反馈控制

输入信息、控制信息、输出信息、反馈信息以及环境变化引起的随机干扰信息，这几种信息之间存在着一定的函数关系，因而可以进行定量描述。

任何控制系统和控制过程，由于环境变化的干扰信息的作用，总会使受控系统的输出状态偏离给定状态。反馈控制的依据，就是受控系统运行的现实状态与给定状态之间的偏差（可简称系统偏差）信息。反馈控制也就是根据这种系统偏差信息，调整和改变受控系统的输入信息（即控制信息）。反馈控制的作用是减少或消除系统偏差，以使受控系统的运行状态维持在一个给定（或容许）的偏差范围内，提高受控系统运行过程中的稳定性，实现受控系统的行为、功能和结果的最优化，达到对系统进行控制和管理的目的。

要实现控制的目的，必须不断解决“现实的系统偏差与反馈控制措施”之间的矛盾，即在受控系统的运行过程中，已

经出现的现实偏差与施控系统为消除这个偏差而采取的反馈控制措施之间的矛盾。因此，反馈控制措施的实施，就可能产生两种不同的效果。如果反馈信息（现实状态）与控制信息（给定状态）的差异倾向于加剧系统正在进行的偏离目标的运动，那么它就使系统趋向于不稳定状态，乃至破坏稳定状态，称为正反馈。如果两者之差倾向于反抗系统正在偏离目标的运动，那么它就使系统趋向于稳定状态，称为负反馈。可见，正反馈是系统偏差不断扩大的过程，而负反馈则是不断消除系统偏差的过程。因此，在控制系统中，一般用负反馈来调节和控制系统作合乎目的的运动。

需要注意的是，在环境变化所产生的干扰信息，作用于受控系统引起输出信息改变的同时，干扰信息也可以直接作用于施控系统。这就有可能在输出信息未出现偏差之前，施控系统即可发出控制信息纠正即将发生的偏差，而不是产生了偏差之后再通过反馈信息来纠正。干扰信息对施控系统的这种直接作用，且施控系统又能理解这一作用的影响，这种情况叫前馈。前馈控制是根据干扰因素和受控系统的变化规律，预测干扰因素和受控系统的变化趋势，提前采取控制措施，避免可能出现的系统偏差。可见，前馈实际上是一种超前型的负反馈。

（三）反馈方法在管理中的作用

今天，反馈控制作为用系统活动结果来调整系统状态的方法，被广泛运用到各个领域。在现代管理中，反馈控制常用于以下情况：

1．检查目标决策。管理的成败，关键在于管理目标决策是否正确。目标决策正确与否，可以用反馈控制方法进行

检查。维纳曾经指出，任何管理人员都应当通过反馈控制参加双向通讯，而不是从上到下的单向通讯，否则，就难以发现他们的政策是建立在完全误解下属人员掌握的事实基础上的。运用反馈控制方法检查目标决策，其过程如图 3—6 所示。

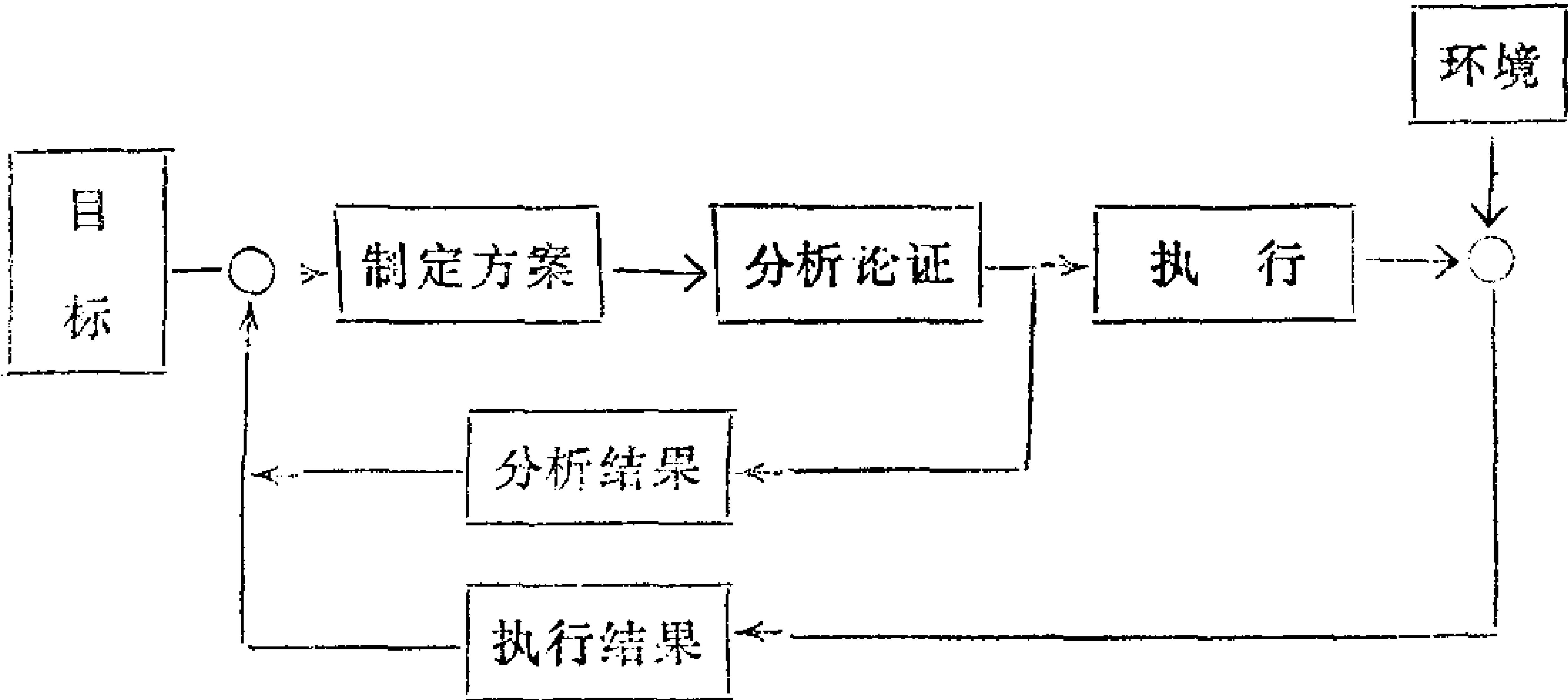


图 3—6　决策过程中的反馈控制

决策者把管理预期达到的成果定为目标，根据目标制定实施方案，通过对方案的分析和论证，把分析结果反馈给决策者，找出目标方案的利弊和改进意见，这是局部反馈。其作用是在决策前纠正可能出现的偏差，以保证方案尽可能周密。经过论证后正式决策并付诸实施，再将执行结果与原定目标相比较，以影响下一步决策，这是主反馈。其作用是检查目标决策是否符合实际，以便采取措施。或修改目标，调整方案；或改进实施手段和方法，以保证管理目标的实现。

2．检查计划制订。实施科学管理，必须有周详的计划。计划制订得是否符合实际，也可以用反馈控制方法进行检

查。管理中，计划部门和销售部门构成一个反馈控制系统。计划部门根据市场预测确定计划指标，然后由工厂组织生产，把生产出来的产品供应市场，多余的产品入库保存（入库量可以是负值，以表明该产品供不应求）。根据计划指标和库存情况，可以检查原订计划是否符合实际。其过程如图3—7所示。

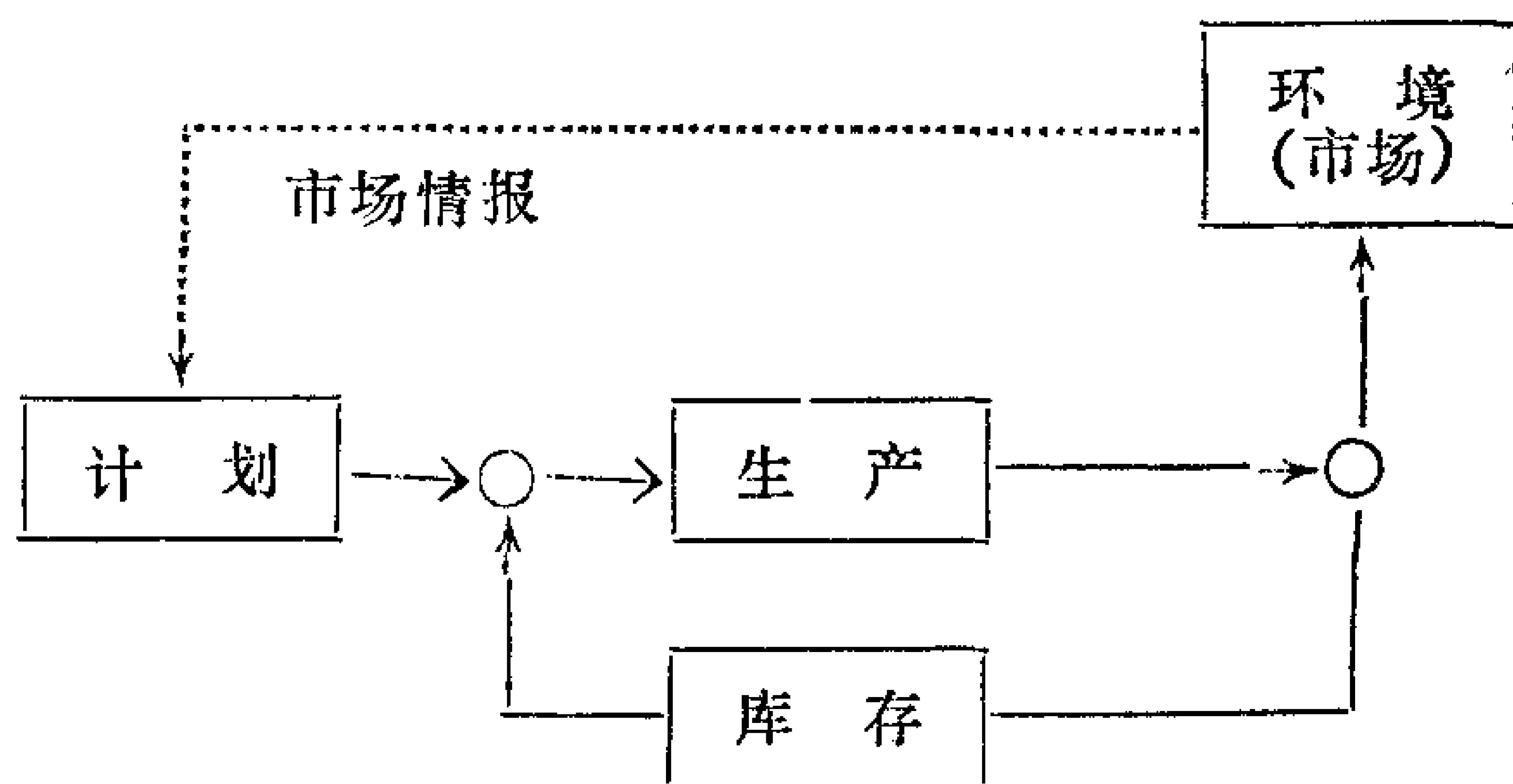


图3—7　计划制订过程的反馈控制

系统中有一个库存反馈，一个市场反馈，同时给出反馈信息。如果销售快、库存少，则应增加生产计划；反之，市场萧条，库存积压，则应减少生产计划。这样才能保持产销平衡，取得良好的经济效益。

3．稳定管理系统状态。现代管理系统一般都是保证目标层层落实的多级递阶控制系统。这种系统运用多级反馈控制，可以减少熵值，提高系统的有序度，从而使系统处于稳定状态。如图3—8所示。

对这样复杂的管理系统，如果不采用分级反馈控制，信息高度集中，受环境干扰因素的影响较大，易使系统出现不稳定状态。因此，采取多级反馈控制，能较好地适应环境变化，保持系统稳定状态，顺利实现管理目标。

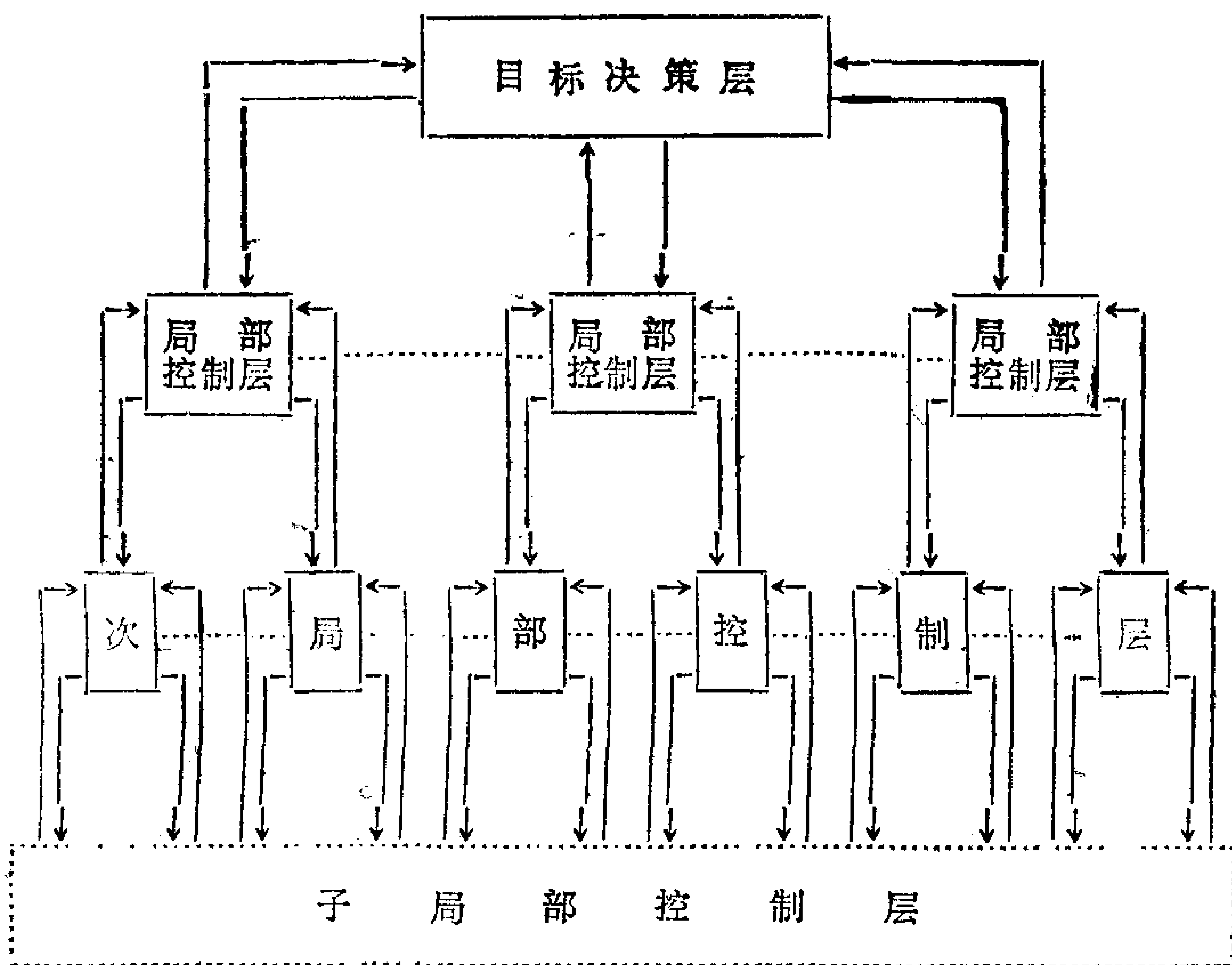


图3—8 管理系统多级反馈控制

第四章　控制与管理

我们知道，管理具有多方面的职能，如计划、组织、指挥、协调和控制等。控制不仅是管理的一项重要职能，而且其他管理职能的履行和发挥也离不开控制。因此，控制论的概念、原理和方法，在管理中得到了广泛的运用。

在管理中，控制是指领导者和管理人员为保证实际工作能与目标计划相一致而采取的管理活动。一般是通过监督和检查组织活动的进展情况、实际成效是否与原定的计划、目标和标准相符合，及时发现偏差，找出原因，采取措施，加以纠正，以保证目标计划实现的过程。亨利·法约尔（Henri Fayol）早在《工业管理和一般管理》一书中指出："在一个企业，控制就是核实所发生的每一件事是否符合所规定的计划、所发布的指示以及所确定的原则。其目的就是要指出计划实施过程中的缺点和错误，以便加以纠正和防止重犯。控制在每件事、每个人、每个行动上都起作用。"①管理的成败在于能否实施有效的控制。有效的控制除了以正确的目标计划为前提，还必须遵循管理控制的步骤、原则和选择恰当的控制方式。

---

① 亨利·法约尔：《工业管理和一般管理》中译本，中国社会科学出版社，1982年版，第119页。

一、管理控制的步骤与原则

（一）管理控制的基本步骤

管理控制的一般过程包括以下三个基本步骤：确定控制标准；根据标准衡量执行情况；纠正实际执行中偏离标准或计划的误差。如图4—1所示。

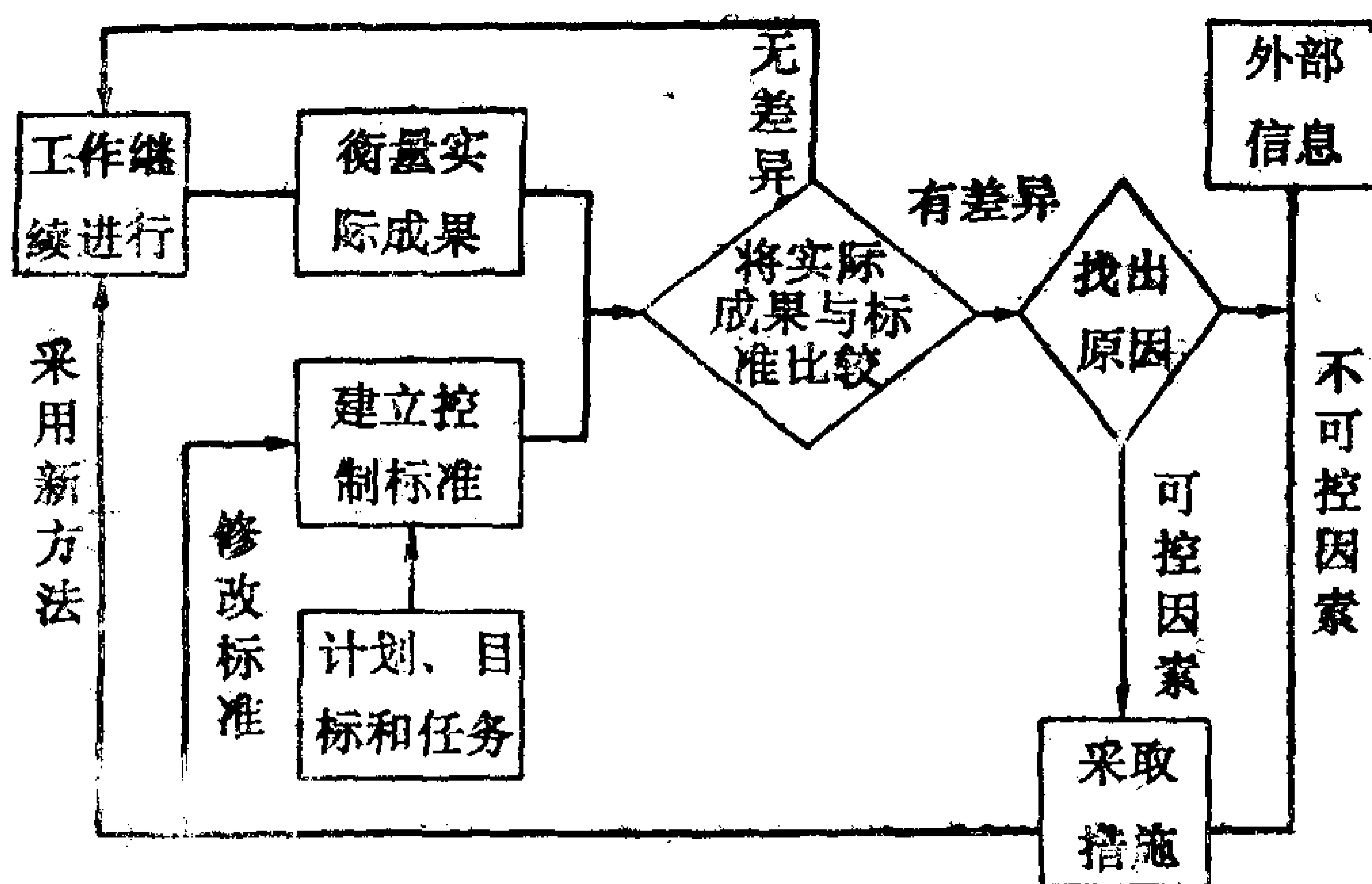


图4—1 控制过程

1. 确定控制标准。这是控制过程的起点。计划是控制的依据，但计划一般是内容详尽，环节复杂。各级管理人员在实际管理活动中，往往不便于掌握其中的每一个细节，因而需要建立起一套科学的控制标准。这些标准是衡量工作成果的规范，是在一个完整的计划中选出的计量工作成果的关

键点。

如何选择这些关键点呢？在实际管理工作中，要根据管理组织所要达到的目标来确定关键点。这个目标，可以是管理组织的总目标，也可以是各个部门以至各个人的分目标。由于人们在实现目标中所达成的最终成果是衡量计划完成情况的最好尺度，因而建立起一个可以考核的完整目标体系，也就获得了一个最好的控制标准体系。只要掌握了这些标准，也就掌握了计划的基本进程和最终目的。可见，控制标准是多层次、多形式的，它是围绕着管理组织及其内部各环节所要完成的目标而制定的。

一个较好的控制标准体系，在内容上一般包括数量标准（实物数量和货币数量）、质量标准（实物质量和工作质量）、综合标准和时间标准等等；在要求上要有较大的稳定性和较强的适应性；在文字表述上要明确具体，便于考核。

2．衡量成效。这是控制过程的第二个步骤。这一步是依据标准衡量执行情况，把实际与标准进行比较，对工作作出客观评价。按照标准衡量实际成效，最理想的是在偏差尚未出现之前就有所觉察，并采取措施加以避免。富有经验的管理者一般是这样的。但是，光凭管理者的经验是远远不够的，必须凭借切实可行的控制标准和测定手段，才能客观评价实际的或预期的执行情况。

为准确地测定执行情况，还必须考虑衡量的精度和频率问题。所谓精度，是指衡量结果能够在多大程度上反映出被控对象的变化。精度越高，越能准确反映被控对象的状态，但同时衡量工作也就越复杂。在某些情况下，没有必要对被控对象了解得过细。因此，总的原则是衡量精度要适度。所谓频率，是指对被控对象多长时间进行一次测量和评定。频率

越高，越能及时掌握状态变化，但同时增加了监测机构的工作量，或者有时根本做不到。因此，总的原则是测频要适当。这样测得的情况较准确，通过与标准的比较而得到的偏差才是真实的。

3．纠正偏差。这是控制过程的第三个步骤。这一步是在衡量工作成效的基础上，针对被控对象状态相对于标准的偏离程度，及时采取措施予以纠正，使其恢复到正常状态上来。

纠正偏差重要的是对其产生的原因进行认真地分析。偏差产生的原因往往是多方面的，有的是执行部门或当事人的责任；有的是外部条件的突然变化造成的；有的甚至是计划阶段预测不准或决策失误所致，如此等等。如果不对造成偏差的原因做切合实际的分析，那么纠正偏差的控制措施也就不能奏效。因此，搞清偏差产生的原因是采取控制措施的基础。

采取控制措施纠正偏差，往往要结合其他的管理职能。美国管理学家哈德罗·孔茨在《管理学》中谈到控制时，认为纠正在实际执行中所产生的偏差，既可以看成整个管理系统工作的一部分或控制工作的一个步骤，也可以理解为控制工作与其他工作的结合点。这是因为管理系统只有不断发现并纠正执行中的目标差，才能最终地实现目标。同时，纠正目标差又需要其他工作的配合，视不同情况，采取不同的纠偏措施。有时可以通过加强指导或领导工作来纠正偏差；也可以通过组织职能，如重新明确职责，加强人员培训或重新委派得力人员来纠正偏差；有时还可以通过计划职能，重新修订计划或修改目标来纠正偏差。

总之，上述的控制过程的三个基本步骤，实际上形成了

一个完整的反馈控制系统，完成一个控制周期。通过每一次循环，使目标差不断缩小，保证管理活动向目标方向健康发展。

（二）管理控制的基本原则

管理的成效取决于有效的控制，有效的控制除了要具有必要的前提和遵循控制的基本步骤外，还必须注意以下几个基本原则：

1．标准原则。管理控制是通过人来实现的，甚至最好的领导者和管理人员也不可能不受自身个性及经验等主观因素的影响，因而管理中由人的主观因素造成的偏差是不可避免的，有时难以发现甚至难以纠正。但这仅是问题的一个方面，另一方面是人具有能动性，可以主动纠正偏差。后一方面能力的发挥，必须凭借客观的、精确的、具有可考核性的标准，以标准衡量目标或计划执行情况，从而补尝人的主观因素的局限。这就是建立控制标准的依据。

2．适时性原则。一个完善的控制系统实施有效的控制，必须在一旦发生偏差时能够迅速发现，及时纠正。甚至在未出现偏差之前，即能预测出偏差的产生，防患于未然。这就是控制的适时性原则。

控制的适时性可以使管理人员尽早发现乃至预测到偏差的产生，及时纠正，从而将各方面的损失降到最低程度。这就要依靠现代化的信息管理系统，及时将重要可靠的信息传递给有关人员，使其随时掌握工作的进展，尽早获得实际成效与计划或标准之间的偏差信息，以便及时采取措施进行控制。

3．关键点原则。对于大系统的主管人员来说，由于精

力和时间的限制，实施控制不可能面面俱到，应该通过控制关键点，即将主要精力集中于系统过程中的一些突出因素，掌握系统状态，了解执行情况。这就是控制关键点的原则。

控制关键点是一种重点控制形式，也是一种重要的管理艺术。关键点的选择体现了抓主要矛盾的思想，能收到牵一发而动全身的效果。在管理工作中，选择关键点有以下几种情况：(1)选择重点目标为关键点。通过控制对全局有决定意义或重大影响的重点目标，促进整体目标的实现。(2)选择重点对策为关键点。一项目标的实现往往有多项对策，抓住起决定作用的对策，也就抓住了实现目标的关键。(3)选择重点单位为关键点。或者选取先进单位，以先进单位的经验推动面上的目标实现；或者选取后进单位，把后进单位抓上去，自然可保证总目标的顺利实现；或者选取试点单位，以试点单位的先行经验指导面上的管理活动。

4.灵活性原则。如果要使控制工作在计划执行中遇到意外情况时仍然保持有效，那么在设计控制系统和实施控制时，就要具有灵活性。这就是控制的灵活性原则。

实际上，大部分计划在执行中都不免与期望发生偏差，有的甚至可能完全失败。因此，如果控制不具有灵活性，在执行中就难免陷于被动。美国的管理学家孔茨指出："在某种特殊情况下，一个复杂的管理计划可能失常。控制系统应该报告这种失常情况，它还应当含有足够灵活的要素以便在出现任何失常情况下都能保持对运行过程的管理控制。"①为此，决不能把控制工作死板地同无用的计划或不切实际的计划捆在一起，以免在整个计划失策或发生突然变故时，控

①哈德罗·孔茨：《管理学》中译本，贵州人民出版社，1982年版，第762页。

制也跟着失效。要使控制具有灵活性，最重要的是科学预测各种情况对系统可能产生的影响，拟定多种抉择方案，使计划本身保持一定弹性。灵活的计划最有利于实现灵活的控制。

总之，有效的控制除符合上述几项基本原则外，还要考虑控制的经济性，即通过控制所获得的价值必须大于它所需要的费用；控制行为的有效性，即发现偏差后必须有正确的纠正行为。在这里，我们把国外管理学者提出的“控制十要诀”摘录于下，作为小结。这些都是实施管理控制时应注意的。

①控制必须能高瞻远瞩，多作预测和估计。

②控制必须能反映出行动的性质和要求。

③控制要能对差异的发生迅速觉察出来，才能做有效的预防或避免。

④控制应把握其重点。

⑤控制要有适当的标准。

⑥控制要有适度的弹性，即控制要能设法使其适应计划的变更、环境的改变。

⑦控制必须合乎经济原则。

⑧控制要能表现出组织的效能。

⑨控制方法与技术要易于了解。

⑩控制应能指出改正的行动。

二、管理控制的类型与方式

管理系统作为一种控制系统，由于管理对象不同，管理目标不同，系统状态不同，所运用的控制方式也不同。管

理的控制方式是多种多样的，各种控制方式也并不相互排斥。为有效地实现管理目标，往往是多种控制方式交叉使用。对于同一个管理系统，也可以从不同角度考察它的控制方式。按一般的分类方法，管理中常用的控制方式有以下几种类型：

（一）按逻辑发展分类的控制方式

1. 试探控制

试探控制也叫随机控制，是一种原始的控制方式，也是其他控制方式的基础。

当我们碰到一种棘手的事情，又想不出什么办法来解决时，常常硬着头皮说："那就碰碰运气，试试看吧"。"碰运气"或"试试看"就是最简单的试探控制。试探控制是在人们对解决问题所必需的条件不了解，对控制对象的性质不清楚的情况下所能采取的唯一办法。随机控制是完全建立在偶然机遇的基础上，是"试试看"思想在控制活动中的体现。例如，我们要打开一个上了锁的房间，手里有一大串钥匙，但不知道其中那一把能把锁打开。在这种情况下，人们常用的方法就是"一个一个地试一试看"，直到把锁打开。

试探控制在成功的同时，常常伴随着失败。这种控制方式有较大的风险，对事关重大的活动，一般不宜采用这种控制方式。在人类社会发展的初期，人们的知识十分有限，因而常采用试探控制。但也应该看到，人类对客观世界的探索是无止境的，无论科学怎样发达，客观世界总会存在尚未被认识的事物，特别是在科学研究中，当人们对某一新领域的研究刚刚开始，还不能用其他方法来控制对象时，试探控制往往成为人们唯一可以采用的办法。

2. 经验控制

经验控制也叫记忆控制，是一种应用广泛的控制方式。

试探控制所得到的直接成果就是经验，把由试探控制得出的结果用于指导下一次控制，就是经验控制。单纯的试探控制并不强调记忆，只是"一个一个地去试"，如果碰得不巧，就要花费很长时间才能实现目的。改进的办法是增加一个记忆装置，以便把不能达到目标状态的输入都从下一个控制过程中排除出去。例如，在上述开锁的例子中，如果我们通过试探控制把每次试过之后的钥匙记下来，可使试探的范围逐步缩小，最后，在一串钥匙中找到可以打开锁的那一把。我们下一次开锁时，就不用一把一把地试了，直接应用以往的经验，很快就会达到目的。可见，经验控制能够提高控制效率。

在经验控制中，最重要的是经验的可靠性。它包括两层含义：一是真实性；二是必然性。所谓真实性是指能反映解决问题的正确方法，它是真的，不是假的。如果把失败的经验作为成功的经验加以运用，就会导致失败。所谓必然性是指经验能反映事物内部的规律性。偶然的经验虽是真实的，但它不反映事物的规律性，它不足以指导以后的行动。正象一个人看到一只兔子撞死在树下，就认为每天都会有兔子来撞，而采取"守株待兔"的办法一样，结果是毫无收获。

需要注意的是，事物总是不断发展变化的，而经验都是已经做过的事情。因此，如果对当时当地的具体情况不做详细地分析，一味照搬照套过去成功的经验，或者把某一时期的经验当作教条，不允许越"雷池"一步，这样的控制就达不到控制目的。

3. 推理控制

推理控制也叫逻辑控制，是试探控制和经验控制相结合的产物。它通过中间起过渡作用的媒介实现控制，因此又叫共轭控制。

推理控制就是根据事物之间的相似性，用类比的方法，将一种事物的控制用于另一种事物的控制。例如，三国时期的曹冲称象。他是把大象引到一只船上，在船上刻下吃水线；再把大象换成石头，也使船沉到同样的吃水线上，通过称出石头的重量来得知大象的体重。这个方法实际上就是推理(或共轭)控制方法。由于这种控制方法归根到底是使用别处的经验，所以也可叫经验转移。其过程是：

事物甲 $\xrightarrow{\text{相似}}$ 事物乙 $\xrightarrow{\text{经验控制}}$ 事物乙的结果 $\xrightarrow{\text{试探控制}}$ 事物甲的结果。

这里关键是“相似”，即事物甲与事物乙的基本性质要大体相似，否则事物乙的经验难以指导对事物甲的控制。科学技术的发明创造，有不少是通过推理控制的方式来获得的。实验方法也是一种推理控制，即把模型上的实验结果用于控制原型。

4．最优控制

它是控制方式发展的高级阶段，是在前面三种控制方式的基础上，通过精确地分析和推导得出的，是“选优求好”的思想在控制活动中的具体体现，是人类主观能动性高度发挥的产物。

所谓最优控制，就是符合最优标准的控制。其核心思想是：不仅要保证实现控制目的，而且强调要在较短的时间内，以尽可能少的人力、物力、财力的消耗（即系统的输入量）来实现控制目的；或者在同样的时间、资源条件下，使系统

的输出达到最佳目标状态。这就要求在实际控制前或控制过程中，提供多种可供选择的方案，以便在实际控制时能够有所选择，使受控系统能够达到尽可能好的结果。

为了选择好的方案，以便将受控系统调到最佳状态上，需要确定有效性判据。有效性判据是系统运行效果的判定依据。根据有效性判据，判定何种状态优，何种状态劣，何种状态是最佳状态。对于一个短跑教练员来说，衡量其受控系统——短跑运动员的有效性判据是百米速度。对于一个投资者来说，衡量其受控系统——资金的有效性判据是资金的利润等等。

我们知道，受控系统的每一输出，都是由相应的输入产生的，最优控制就在于不断调整输入，保证输出的有效判据取得最好的值。

（二）按关联结构分类的控制方式

1. 简单控制

它只适用于控制对象和外部环境参数十分简单的系统。其施控部分和被控部分的参数变量也往往十分简单。但因现实的管理系统往往是十分复杂的系统，一方面是系统本身处于动态变化之中，另一方面是外界环境也极其复杂。因此，简单控制方式在管理系统中很少使用。

2. 多级控制

也叫多级递阶控制。它是按一定的目标，对系统内部不同层次的行为作出相应的控制的一种方式。

管理系统大多是多级控制系统。随着生产过程日益复杂，劳动分工越细，技术协作越强，组织程度越高，多级管理控制体制也越来越严密。如图4—2所示。

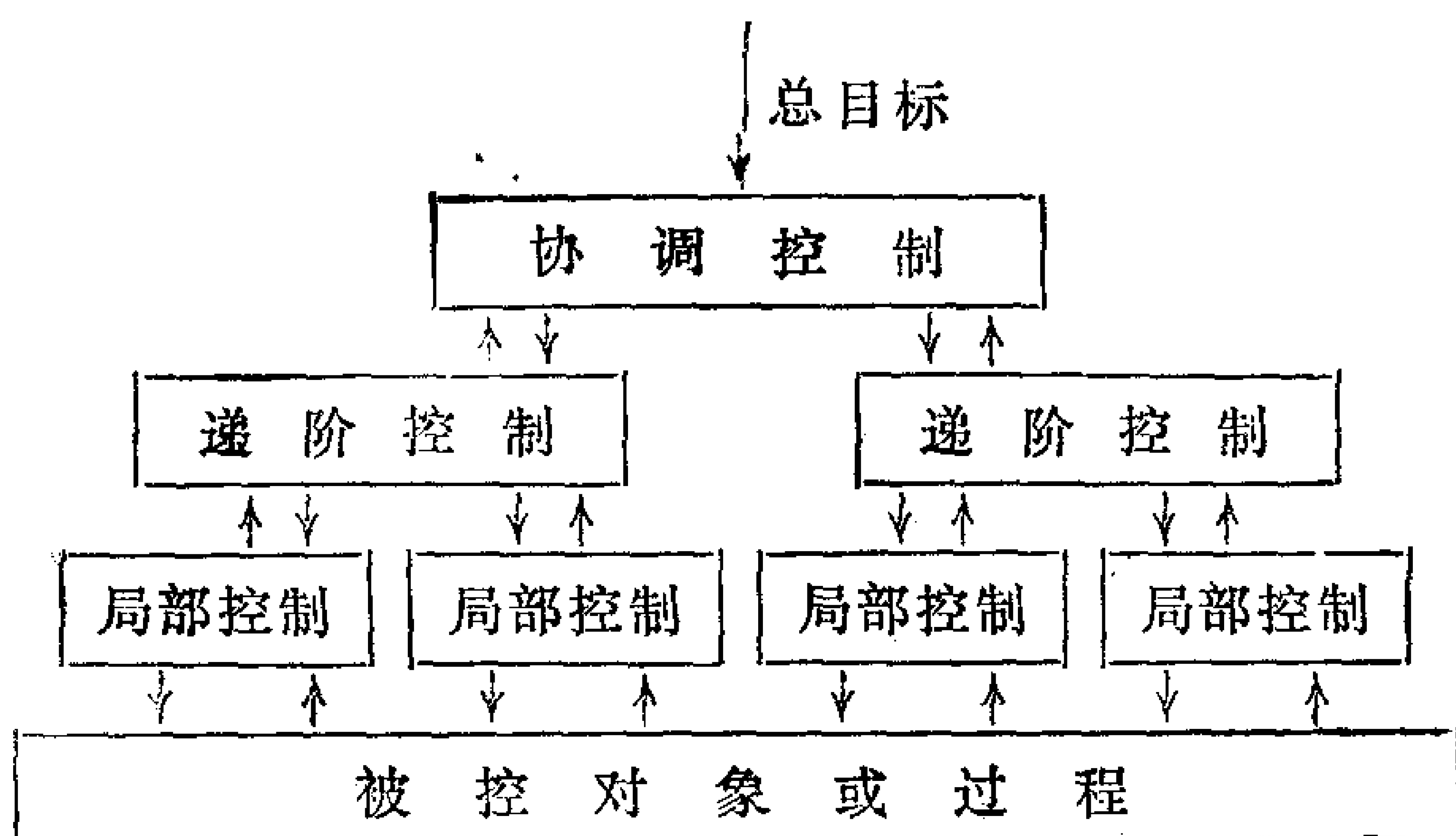


图4—2　多级递阶控制结构

多级控制又可分为集中控制与分散控制两种形式。

集中控制是指在执行决策阶段，总问题的“解”仅由最上级子系统导出，即最后决策由最上级的子系统作出。高度统一的中央集权制，单一的计划经济体制等就是集中控制的典型例子。

集中控制的优点是具有统一的总目标，缺点是信息传输效率低，适应性差，控制过程繁杂，缺乏活力。

分散控制是指在执行决策阶段，总问题的“解”分别由各子系统导出，这些子系统具有较强的独立性，可以自由选择自己的行为。在分散控制中，最上一级的子系统往往只有结构形式上的意义，在其下级各子系统间仅起协调作用。单一的市场经济就是一种分散控制的典型例子。

分散控制有以下几个基本特征：

一是信息传输上的特征，即信息的逐层收敛性。即每个层次在其管辖的范围内具有最大的独立性，因而也就获得了获取信息的广泛性和自由性。每个层次吸收的信息不仅来自

上一级，还可以广泛地吸收来自本系统内部其他子系统以及系统外部其他系统的信息。也就是说，各子系统之间不仅是纵向信息传输，而且还有横向信息传输和交流。在一定限度内，每个层次的独立性越大，信息交流的范围越大，吸收的信息量也就越多，适应性就越强，控制效率就越高。

二是时间上的特征，即层次越低，时间尺度越短，如以日、小时甚至以分钟来计；层次越高，时间尺度越长，如以月、季度甚至以年度来计。

三是目标上的特征，即与各级控制相应的有各级目标，它们组成一个目标体系。

分散控制的这些特征，反映了这种控制方式的优点是信息传输效率高，适应性强，控制简便；缺点是总体的统一性差，不便协调。

在实际的管理活动中，集中控制和分散控制之间没有绝对的分界，许多的多级控制系统的控制往往介于这两者之间，兼有两者的特性，只是有所偏重罢了。我国现行的领导体制和管理体制，就是多级递阶控制型，按中央、省、地、县、区、乡逐级形成。在这种多级控制中，在具体的管理方式上，应把分散控制和集中控制结合起来，视不同情况或不同的环境变化，有时分散控制多一点，有时集中控制多一点。通过二者的有机结合和灵活运用，既保持管理体制上的集中统一，又使各级子系统具有相应的自主权；既要防止统得过死，又要防止过于分散。

（三）按信息反馈分类的控制方式

1.开环控制

开环控制是系统不将输出信息返送回原输入端，并形成

再控制的直链式控制方式。

开环控制是由首尾不相接的一连串环节所组成的，其中后面的环节对前面的环节没有影响或影响极微（参见图2—4）。也就是说，这种控制方式几乎不存在反馈信息，构不成闭合回路。

2.闭环控制

闭环控制又叫反馈控制。它是根据反馈原理对系统进行调节的一种控制方式。简单地说，就是施控系统根据反馈信息，通过调节受控系统的输入，来实现控制目的。

闭环控制与开环控制的根本区别，在于增加了反馈环节（在管理系统中是“监测机构”）。由于增加了反馈环节，使整个控制过程形成一个双向环形的闭合回路。通过反馈环节，把受控系统的状况返送给施控系统来影响其控制指令的改变。闭环控制在管理中被广泛运用。在管理中，闭环控制是使受控对象的行为结果返过来影响自身的输入，进而调节自身的行为。如为激励组织成员的积极性，根据组织成员的劳动成果实施奖惩，使用的就是闭环控制方式。如图4—3所示。

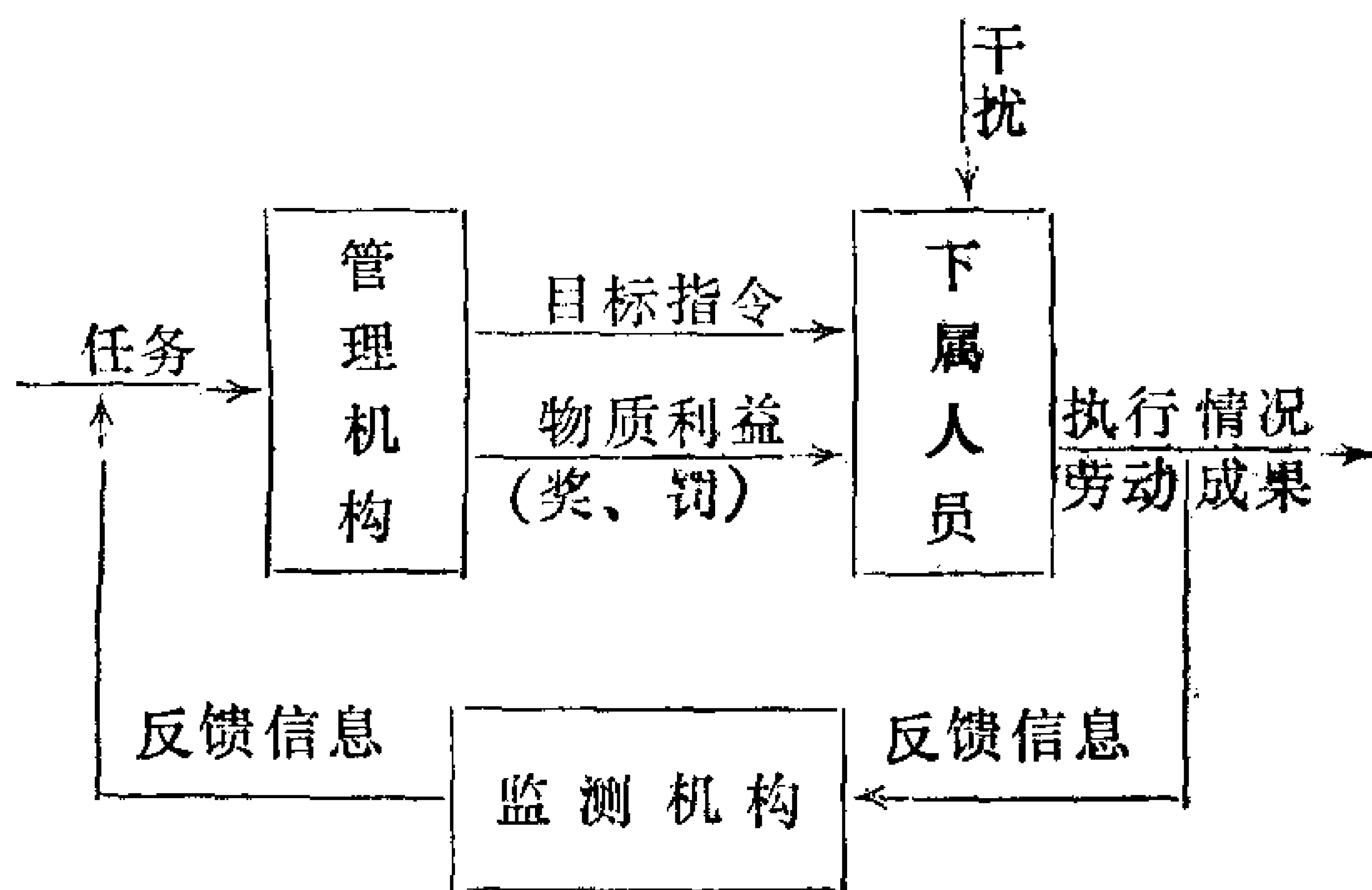


图4—3 管理中的闭环控制

（四）按系统输入内容分类的控制方式

根据控制系统的输入内容不同，又可分为计划控制和目标控制两种控制方式。计划控制系统的输入是预先编好的计划，目标控制系统的输入是系统所要达到的目标。计划控制和目标控制是管理活动中常用的、也是最基本的两种控制方式，因此我们将其作为一个独立的问题加以介绍。

三、计划控制与目标控制

（一）计划控制

计划控制又称程序控制，是管理控制的基本方式之一。计划控制中系统的输入，是预先编制好的计划。受控系统按计划指令运行，以保证系统状态不偏离计划轨线。

在管理活动中，不论是目标责任者的自我控制，还是上级对下级的宏观控制，都需要以计划为依据。所谓计划，就是在既定目标的前提下，科学地预计和制定达到目标的未来的行动方案。计划是在目标实施之前，对决策目标的进一步展开和落实。一个好的计划，如同在现实状态和目标状态之间架设了一座桥梁，可以使人们在目标实施时方向明确，步骤有序，工作协调。特别是在达到目标的过程复杂，人们对目标还不甚了解的条件下，运用计划控制，可以引导人们有秩序地达到目标。

在实际的管理工作中，计划程序的编制可分三步进行：

1.在决策目标确定的前提下，进一步拟定反映总目标的各项具体指标。

2. 预测在实现总目标的过程中，会出现哪些因素的影响。其中包括内部因素和外部因素，有利因素和不利因素。

3. 根据现有条件和未来可能受到的影响，制定出达到目标的具体措施和步骤。

切实可行的计划，为以后实施中的控制建立了标准，提供了依据。控制正是按照计划所提供的标准和要求，来纠正那些脱离计划的偏差的活动，使管理朝着既定的目标方向发展。

计划控制分为两种：一种是开环计划控制，一种是闭环计划控制。

开环计划控制也叫硬性控制。施控系统将可控输入转化为计划指令后作用于受控系统，受控系统的输出结果不再被返送回输入端并形成再控制的直链控制方式，称之为开环计划控制。如图4—4所示。

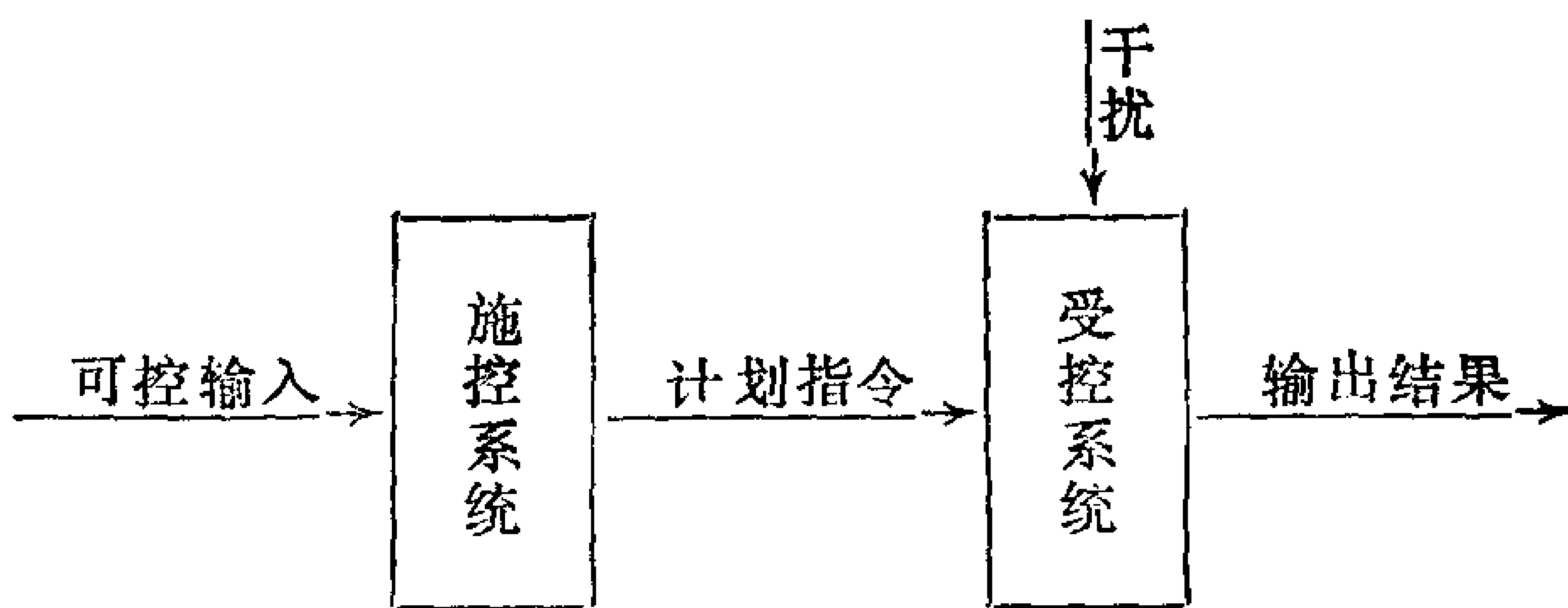


图4—4　开环计划控制

开环计划控制系统，在施控和受控两个子系统之间没有反馈环节，构不成闭合回路。受控系统自身行动的结果，不能直接影响自身的输入，因而它是一种不完善的控制系统（非自控系统）。在这样的控制系统中，受控系统不仅要接受施控系统的计划指令，同时也受到外界干扰的作用。在没

有干扰时，受控系统按计划指令行动；当干扰出现后，受控系统的输出，是计划指令和外界干扰共同作用的结果。由于没有反馈环节，计划指令不能自行作相应调整，受控系统就不能完全按计划指令行动，通常会偏离计划轨线，并且不会自动回到计划状态上来。

鉴于上述情况，在开环计划控制中，计划建立的前提是：假设外部环境与受控系统的未来行为具有完全的确定性。因此，它只适用于干扰因素影响较小，或系统本身抗干扰能力强，或有较多的历史经验可资借鉴的控制活动。如按管理法规、工作制度进行的硬管理，以及军队系统的条例、条令的贯彻执行等，均属此列。

闭环计划控制又称反馈计划控制，它与开环计划控制的区别，在于增加了反馈环节（在管理组织中可能是“监测机构”），通过反馈环节，把受控系统的状态或执行结果返送给施控系统，以影响其计划指令的改变。这样，整个控制过程形成了一个双向环形的闭合回路，使受控系统根据自身的行动结果，影响自身的输入，从而调整未来的行为。如图4—5所示。

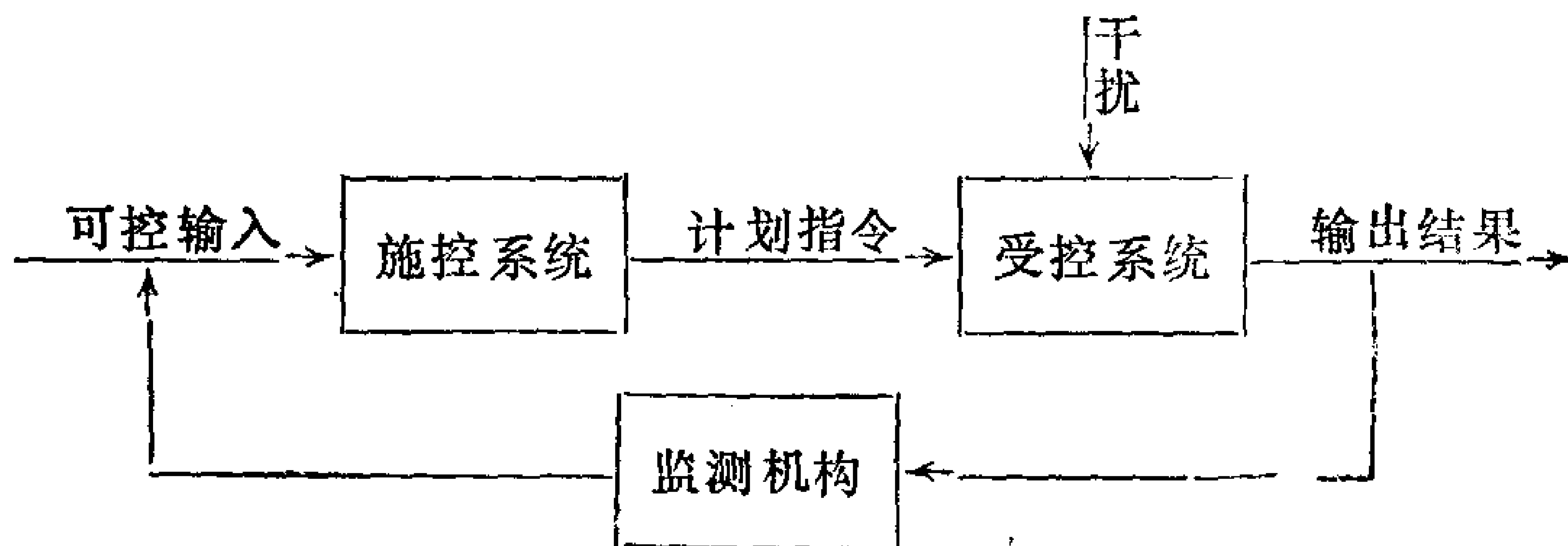


图4—5　闭环计划控制

在闭环计划控制中，计划建立的前提是：假设外部环境与受控系统的未来行为大部分是确定的，一部分是未知的因素，会使系统偏离计划轨线。因此，采用反馈，把系统当前的状态与计划状态相比较，如果发现偏差，就改变输入使系统自行回到计划轨线上来。如飞机按预定的航线飞行，在飞行中通过各种探测方位的仪器，把飞机所处的位置通知指挥员。指挥员根据飞机的位置相对于航线的偏差，发出纠正指令，使飞机按预定航线飞行。

在管理中，计划控制是以计划指标为依据，检查监督各项工作的落实情况，发现与计划不符合时，即采取措施进行调整，使工作按计划进行。可见，计划控制可以保证受控系统不偏离计划轨线。这种控制方式的有效性，取决于计划的可行性，即前提假设与实际吻合的程度。吻合程度越高，有效性就越高。但是，再好的计划也难以完全预料执行中可能发生的一切情况。当形势的变化需要修订目标、改变计划时，常常会出现系统运行的滞后性，表现出对情况变化的不适应。因此，计划控制一般适用于干扰作用较稳定的系统。

（二）目标控制

目标控制又称跟踪控制，也是管理活动中最基本的控制方式。目标控制中系统的输入是系统所要达到的目标。它是用受控系统运行时的目标状态，相对于输入目标的偏差，来指导或纠正系统未来的行为。

目标控制的基本过程如图4—6所示。

1.施控系统（上级）向受控系统（下级）发出指令（任务、目标或计划），经过上下级协商，将上级指令转化为下

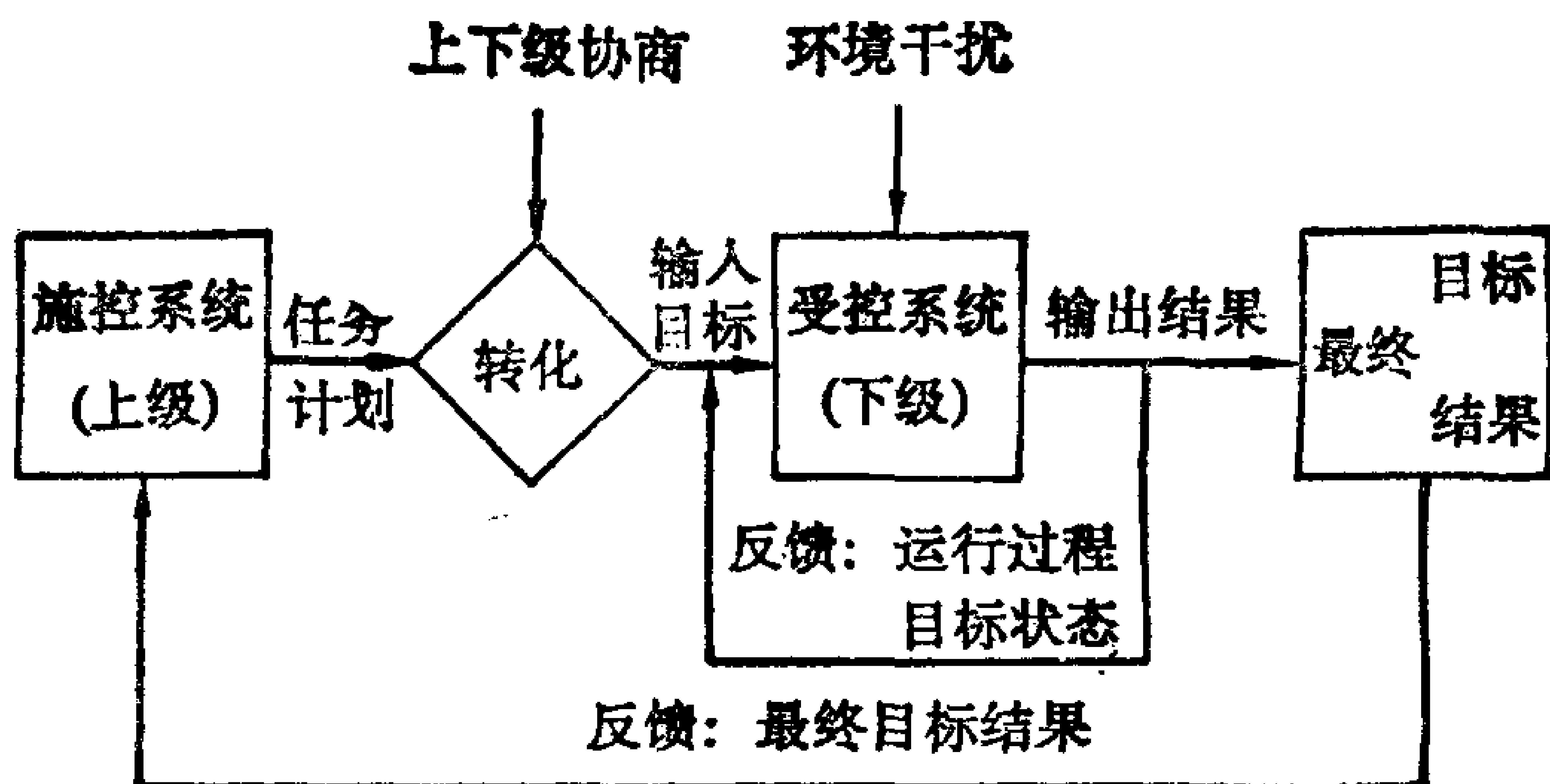


图 4—6 目标控制

级的目标，以目标输入受控系统。

2.受控系统根据输入的目标，自行决定达到目标的行动方案，并按方案在环境干扰的情况下运行。由于干扰的作用，运行过程中的目标状态会偏离计划状态，因而需要反馈调节。

3.受控系统通过反馈调节，把运行过程中的目标状态与输入的目标状态进行比较，发现偏差后，自行调整行动方案，使其恢复到正常的目标状态上来。

4.按输入的目标计划期，受控系统运行完毕后，将最终的目标结果反馈到施控系统。

从以上过程看，目标控制有以下几个特点：

1.受控系统自行调节。目标控制并不是不要计划，不仅目标需要根据上级计划来制定，而且计划作为达到目标的中间过渡环节，也是不可少的。只不过这里的计划是受控系统

（目标责任者）自行决定的，即根据自身的调节能力自己决定达到目标的行动方案，并根据执行中的情况自行加以调整。

2.施控系统只管“两头”。施控系统主要抓目标输入和目标考评，而对受控系统的运行过程（执行情况），除了提供必要的人、财、物等保障条件和咨询指导外，一般不做过多的干预。控制的效果，主要取决于目标是否正确，以及受控系统的自我控制能力。因此，施控系统要尽量减少指令信息，把工作的重点放在宏观控制方面。

3.应变能力强。在目标控制中，受控系统的行动方案并不完全依赖于对未来预测的准确程度，而是根据系统当前的状态自行调节未来的行为。也就是说，受控系统在运行过程中，不必通过施控系统的反馈调节来影响自己的行为（不必事事向上级请示），只有当通过自己的努力无法实现目标时，才将执行信息反馈到施控系统，以获得必要的支援。这比起计划控制只能通过上级施控系统改变程序以调整行为来说，目标控制对干扰反应的灵活性要强得多。在这些方面，目标控制提高了系统的适应能力和控制水平。在现代管理中，目标管理就是以目标控制为基本形式的管理方法。

在实际管理活动中，要善于把目标控制和计划控制等其它控制方式有机地结合起来。如在系统实现具有战略意义的长远目标时，可以运用计划控制，通过合理的计划，使执行中的各个阶段前后衔接，各个方面相互协调，从而确保宏观不失控。对于其中一些较具体较直接的管理活动，则可以运用目标控制，让目标责任者自行决定行动方案，以适应环境的变化，从而确保微观上不致于统得过死。“控而不死，活而不乱”，正是现代管理的基本要求。

信息论与现代管理

第五章　信息论的形成与发展

信息论产生于本世纪40年代末，它的主要创立者是美国的数学家申农（C·E·Shannon）和维纳。最初，信息论仅局限于通讯领域，是一门应用概率论和数理统计方法研究信息处理和信息传递的科学。它的基本内容是研究信源、信宿、信道及编码问题。后来，信息论作为控制论的基础，它研究的是通讯和控制系统中普遍存在着的信息传递的共同规律，同时也是研究如何提高信息传输系统的有效性和可靠性的通讯理论。随着现代科学发展的综合化、整体化趋势，信息概念及其方法远远超出通讯领域，已经推广和应用于其他学科，如生物学、医学、仿生学、语言学、管理科学等等，从而使局限于通讯领域的信息理论，发展成一种广义信息论——信息科学。

一、人类对信息的认识

信息一直存在于客观世界之中，虽然人类开始并未认识到这一点，但却一直在自觉或不自觉地接触和利用着信息，并且不断地从各种信息中汲取丰富的营养，武装着自己的头

脑，增长着与大自然作斗争的知识和本领。原始人类为了捕捉猎物，逐渐懂得了搜寻野兽的信息，根据野兽留下的气味和脚印寻找兽群；在雷击树木、野兽的偶然事件中，学会了食熟食以及取火、用火的方法；根据植物一年四季生长的信息，学会了种植可食用的农作物等等。信息如同布帛黍粟，是人类生存和发展须臾不能离开的东西。

人类对信息的认识和利用，历史悠久，源远流长。从古至今，人类经历了获得语言、创造文字、发明印刷术、开发电波通讯这样四个信息革命阶段。目前，以计算机为标志的第五次信息革命，将使人类历史地进入信息时代。

第一次信息革命——语言的产生。在原始时期，人类还没有自己的语言和文字，人们只能以自身的感官接受和传递信息。传递信息、交流思想是靠手势、表情和简单的音节等方式进行的。在没有文字的情况下，人们以刻木、“结绳记事”等手段，将某些事物记载下来。这些方法虽然只能传递和存贮某些简单的固定信息，但毕竟是人类对存贮和传递信息的最早尝试。

在原始人的生产活动中，由于共同劳动，协同动作，需要向他人表达自己的感情、愿望和见解，人类“已经到了彼此间有些什么非要说不可的地步。”① 于是人类的语言产生了。语言的产生，使人类获得了交流思想、传递信息的有力工具。从此人们可以用词汇来概括各种感受到的信息，经过抽象的思维活动，表达出更加复杂、准确的思想内容。这大大促进了人类感性经验的交流和记忆性的积累，从而使人类更有效地从事生产活动和社会交往。很多史前的农事资料、

①恩格斯：《马克思恩格斯选集》第3卷，第511页。

气象资料、医学资料及民间的一些美丽的传说，如“盘古开天辟地”、“神农尝百草”、“燧人氏钻木取火”、“有巢氏凿木为巢”等，都是靠语言彼此相告，口头留传下来的。因此说语言的产生，是人类历史上第一次信息革命。

第二次信息革命——文字的产生。随着生产的发展和社会的进步，人们接触和掌握的信息越来越多，也越来越复杂，单凭语言传递交流信息的方式日显不足。利用语言人们只能面对面地传递信息，话一说完，信息的传递亦即宣告结束，从而使信息传递受到极大的限制。为了满足在生产和生活中的需要，最初人们直接使用图画作为符号记录存贮信息，后来逐渐演变成象形文字。我国的汉字就是在象形文字的基础上发展起来的，而其他许多国家的文字则走上了拼音化的道路。

文字的出现，使人类传递和掌握信息超越了时间和空间的限制。利用文字，人们可将口头传递的信息记录下来，长期保存，成为人类认识自然、了解历史的宝贵财富。例如，我国古书《竹书纪年》中记载了3800多年前的两次地震，这是世界上最早的地震记载。又如历史上最早的新星记录，也是由我国在公元前14世纪用甲骨文记录下来的。再如世界上最古老的星系表，记载在战国时代古书《甘石星经》上，这些至今仍不失为科学研究有价值的珍贵资料。文字的使用促进了信息的大量积累，给人类提供了关于物质世界的各种知识，从而扩大了人们的眼界和活动范围，增进了人类社会文明的发展。正如恩格斯所说：“从铁矿的冶炼开始，并由于文字的发明及其应用于文献记录而过渡到文明时代。”①因此说文字的产生，是人类历史上第二次信息革命。

第三次信息革命——造纸和印刷术的发明。人类的第三

①恩格斯：《马克思恩格斯选集》第4卷，第21页。

次信息革命是以造纸和印刷术的发明为标志的。在这之前，信息是用文字记录在甲骨、竹简或兽皮上的，保存和传递都非常不便。我国造纸术的发明，使信息可以书写在轻便的纸上，便于保存和传递。特别是活字印刷术的发明和使用，促进了书籍、报刊、杂志的出版，使信息得以大量的生产和流通，显著地扩大了信息的传递范围。从此，人类社会进入了以印刷品为知识和信息基本来源的新时代。

第四次信息革命——电讯通信的应用。社会的发展，使人类对信息在生产和生活中的地位越来越重视，对信息的要求越来越迫切，了解信息的范围也越来越广泛。为了更多、更迅速地掌握信息，人们在传递信息的手段和技术上做了长期的探索。从最初的人力奔走、骑马、乘坐车船和利用“烽火”传递信息，到18世纪的“火车邮政”，这些手段在不同的历史时期都起过很了不起的作用。19世纪以后，随着电的广泛应用，电报、电话、广播、电视、传真等新技术相继出现，把人类传递信息的手段提高到一个新水平。电讯通信的开发和使用，进一步拓广了信息传递的范围和内容，除了文字外，还能传递声音和图象。使信息的时间传播在缩短，空间传播在延长；使人类社会对信息的传播和利用全球化、多样化和网络化；使社会的生产、科技和消费等各个领域相互沟通起来，产生了巨大的经济效益，推动了社会的进步。因此，电讯通信被人们誉为第四次信息革命。

第五次信息革命——电子计算机的应用。本世纪以来，特别是50年代以后，由于现代科学技术的迅猛发展，社会生活的节奏不断加快，使人们越来越认识到信息是继物质和能量之后的又一种重要资源。社会进步的幅度，国家发展的水平，在一定意义上说取决于信息传播的速度和利用的程度。

据统计，本世纪以来，通讯的速度增加了一千万倍，记录信息的速度增加了一百万倍，运输速度增加了一百倍。在这样一个高速度的世界面前，越来越暴露了人类自然智力的局限，单凭自然智力获得和加工信息已经无法达到社会发展的要求。电子计算机的发明和应用，为人类认识和利用信息带来了新的革命，开辟了人类智力解放的新途径。

特别是80年代以来，电子计算机、卫星通讯、光导纤维、大规模集成电路和集成光路等的综合利用，计算机技术和各种通讯技术的结合，正在形成综合的信息网络系统。这使信息的加工和利用向自动化、网络化和社会化发展，有力地推动了人类社会向信息时代的新阶段迈进。

二、信息论的形成

人类对信息的认识和利用虽然历史悠久，但是自觉地上升到科学理论的高度并形成一门独立的科学，却是本世纪40年代的事情。可以说，信息论的形成有着深远的思想渊源及深厚的科学技术基础。

（一）准备阶段

19世纪中叶到本世纪40年代可以作为信息论产生的准备阶段。准备阶段大致分为思想准备和技术准备两部分。

思想准备。自牛顿（I·Newton）力学创立以来，从17世纪至19世纪期间，自然科学领域是由机械唯物论统治着。机械唯物论企图用拉普拉斯（P·Laplace）的决定论来解释一切，他们否认客观世界存在着偶然因素，认为世界的万事

万物都是由宇宙的各种作用力和所有原子在某一时刻的坐标和速度决定的。这种观点只承认事物的必然性，排斥和否认偶然性，将事物的偶然性和必然性绝对地对立起来。这种形而上学的思想严重地束缚着科学家们的头脑，阻碍着科学的发展。

美国物理学家吉布斯 (Josiah Willand Gibbs) 和奥地利物理学家波尔兹曼 (Ludwig Boltzmann)首先冲破了这种思想的桎梏，将统计学引入了物理领域，并把研究偶然性和不确定性作为一种科学方法在物理学中加以应用。此外，波尔兹曼还将熵函数引入了统计物理学，并指出熵是一个系统失去了的“信息”的度量，从而将熵与信息联系起来。偶然性、熵函数在物理学中所取得的研究成果，为信息论的创立奠定了方法论和思想基础。

技术准备。随着社会生产力和科学技术的发展，人们对传输信息的要求越来越高。因此，如何提高通讯系统传输信息的效率和可靠性，以及如何对各种形式的消息中所包含的信息作定量的描述，成了急需解决的课题。

1832年德国科学家韦伯（W·E·Weber）、高斯（Gauss）发明了电报，1837年美国人莫尔斯（S·F·B·Morse)又发明了高效率编码的电报法，提出了一种快速传输的方法。从此，人类有了比较先进的通讯工具。特别是1901年马可尼的跨海峡的无线电通讯试验成功，标志着通讯进入了现代化的时代。

通讯手段的进步，进一步推动了通讯技术理论的发展。1922年卡松（Carson）阐明了边带问题理论，指出了信号在调制（编码）过程中频谱展宽的法则。1924年美国的奈奎斯特（H·Nyquist）和德国的开夫曼（Kupfmuller）指

出了频带宽度和信号传播速率间的关系。1928年哈特莱（L·V·R·Hartley）发表了《信息传输》一文，首次指出了消息与信息间的区别。他指出，消息是信息的载体，消息是代码、符号和序列，而信息是指包含在各种具体消息中的抽象量。哈特莱排除了信息在实际内容上所带有的主观成分，实现了信息概念上的突破。他还第一次提出了信息量的概念，并主张用消息出现的概率的对数来度量其中所包含的信息，为信息论的创立奠定了初步基础。1945年波特（Potter）发表了《声音的可视图形》，1947年他又与柯普（G·H·Kopp）等人著成《可视语言》。这两篇文章介绍了各种声的谱图，阐述了当采用不同带宽的滤波器时，时间和频率的分解率之间的关系。这些与信息论关系密切的早期理论和技术工作，无疑对信息论的形成起了不可忽视的作用。

（二）创立阶段

信息论的创立，尽管有其深刻的思想准备和技术准备，然而推动信息论产生的直接原因还是生产和战争的需要。本世纪40年代后，通讯技术得到了迅速的发展，相继出现了雷达、电子计算机等新的技术工具，同时还出现了一些自动控制装置。通讯技术的发展迫切需要解决一系列信息传输问题。如怎样从接收信号中滤出各种噪声，自动防空系统中如何通过信息的传输和变换控制火炮自动跟踪机动性目标等，都需要从理论上予以说明和解决。这就促使许多科学家和工程技术人员，在各自的岗位上对信息问题进行了大量的研究。他们各自从不同的角度阐述和论证有关信息的理论和概念，然而却得出了几乎相同的结论。这充分说明信息论的产生，有其历史的必然性。

对信息论的创立起了奠基作用的是美国的数学家申农。当时，申农正在贝尔电话公司工作，他为了解决信息的编码问题，开始从事信息理论的研究。1948年和1949年，申农在《贝尔系统技术》杂志上，先后发表了关于信源和信道特性的两篇权威性论文——《通讯的数学理论》和《在噪声中的通讯》，奠定了现代信息理论的基础。在研究中，他突破了传统的研究方法，把发射和接收作为一个整体来考虑，并根据信息具有随机性的特点，将物理学中的数学统计方法移植到通讯领域，提出了信息熵的数学公式，解决了信息的度量问题，建立了信息量的概念。此外，他还提出了通讯系统模型和编码定理等问题，初步解决了如何从信息的接收端提取由信源发出来的消息问题，以及如何利用信道容量等问题。一般认为，《通讯的数学理论》的发表，标志着信息论的诞生。

维纳则从控制和通讯的角度研究了信息问题。他主要是以自动控制的观点来研究信号被噪声干扰时的处理问题，建立了著名的维纳滤波理论、信号预测理论。他从统计观点出发确立了信息度量的原则和方法，并独立地推导出与申农相同的度量信息的数学公式。他还从控制论的角度给信息下了定义，并把它作为处理通讯和控制系统的基本概念和方法，率先将信息的概念和方法运用到其他领域中去，为信息论的广泛应用，开辟了光辉的前景。

与申农、维纳不同，美国统计学家费希尔(R·Fisher)从古典的统计理论角度研究了信息问题，得出了与申农、维纳相同的认识。

综上所述，申农从通讯理论方面，维纳从控制论方面，费希尔则是从数学方面分别研究了信息的理论问题，都得到

了共同的认识和结果。这说明信息论的产生不是某个天才科学家的机遇性成果，而是社会实践和科学技术发展到一定阶段的产物。

三、信息论的发展

自申农信息论创立以来，世界范围内对信息论的探究，经过了一起一落而后再起的过程。

（一）信息论向各门学科冲击和挑战的时期

信息论的成就，给当时科学技术的研究开辟了新的途径，人们试图把信息概念、方法用来解决本学科面临的难题。科学家们已经直觉到，信息已不仅是局限于通讯过程的范畴，它在本质上是一种非常基本的自然范畴。50年代所形成的推广申农信息论的热潮，就是这一直觉的结果。整个50年代，在英国和美国相继举行了多次信息论的重要会议，人们尽可能从广泛的意义上来解释信息论。1950年9月在伦敦举行的信息论会议上，发表了20多篇论文，其中有6篇是关于信息论在心理学和神经生理学中的应用。1951年美国无线电工程学会承认了信息论这门新学科，并且成立了信息论学科组。1955年9月，在伦敦举行了第三届信息论会议，涉及了更为广泛的内容，诸如数学、物理学、统计学、计算机、电子学、经济学、生物学、心理学、哲学、语言学等内容。

在这一时期，取得较大成就的是法国旅美物理学家布里渊（L·Brillouin），他将信息论推广到物理领域，比较系统地提出一种较申农信息论更为广义的物理信息理论。布

里渊在1956年出版的专著《科学与信息论》一书中，将信息熵与热力学熵联系起来，提出了“信息的负熵原理”，认为信息与热熵减少是等价的，并推导出信息熵与热力学熵之间量的相互关系，即：

$$1比特 = k\ln 2 = 10^{-16}尔格/{}^{0}K$$

其中，k为波尔兹曼常数，${}^{0}K$为绝对温度单位。这一研究成果，扩展了热力学第二定律，从而将信息和一切与物理熵过程有关的领域联系起来，为信息论的拓宽打下了良好的基础。

但是，由于存在许多理论和技术上的困难，推广信息论的工作并未取得令人满意的结果。申农在1956年就指出：“信息论的基本结果都是针对某些非常特殊的方向，它们未必切合象心理学、经济学以及其他一些社会科学这类领域。……我个人相信，对于上述那些领域，信息论的许多概念是有用的（实际上有些结果已经是十分有希望的），但这些应用的建立绝不可能是简单的生搬硬套所能奏效，而应当是一个不断研究，不断实验的过程。”①这里，申农一方面肯定了信息论的推广工作，一方面又强调指出这一工作的艰巨性。这是由于当时科学技术以及申农信息论的局限所至，推广信息论的工作，并非已经到达水到渠成的地步。随后的信息论的研究，仍未摆脱通讯的狭窄领域，研究工作也只局限于如何使通讯系统精细化和技术化。

（二）进一步深入学习、理解和消化信息论的时期

60年代是人们进一步深入学习、理解和消化信息论的时

①转引自《计算机应用与应用数学》，1976年第5期，第75页。

期，是在已有的基础上进行重大建设的时期。在这一时期，人们研究的重点是信息和信源编码问题，在噪声信道编码、离散信源编码、信道编码理论等方面都取得了较大的进展。

在这一时期，把信息论推广应用到其他科学领域并取得显著成效的是英国控制论学者、神经生理学家艾什比（W·R·Ashby）。他在1956年发表的《控制论导论》和1964年发表的《系统与信息》中，从系统分析的角度研究了信息本质，为信息论的研究开辟了重要的方向。他认为，信息论在本质上是组合论的一个分支，而信息则是指某一集合中元素的差异程度，即"变异度"。他用对数表示某一集合的变异度，在量上得出了与申农、维纳完全相等的信息量（单位也是比特）。有人认为，这是一种新的更普遍的信息概念，是对事物及其属性的不均性、有序性、变异度的一种描述。

60年代，根据不同的研究内容，人们把信息论分成三种不同的类型。

（1）狭义信息论。即申农信息论。主要研究消息的信息量、信道（传输消息的通道）容量以及消息的编码问题。

（2）一般信息论。主要是研究通讯问题，但还包括噪声理论、信号滤波与预测、调制、信息处理等问题。

（3）广义信息论。不仅包括前两项的研究内容，而且包括所有与信息有关的领域。例如，物理学、心理学、语言学、神经生理学等中的信息研究。

（三）信息概念和方法广泛向各门科学领域渗透的时期

70年代以后，信息概念和方法广泛渗透到各门科学领域，信息在社会生活中的作用日显重要，人们逐渐认识到信息

如同材料和能源一样，可以作为资源充分利用和共享。为了有效地开发和利用信息资源，迫切要求突破申农的信息论的范围，把它发展成为处理人类活动中所碰到的一切信息问题的理论。早在申农信息论刚刚诞生时，曾与申农合作过的魏沃尔（W·Weaver）就指出了其局限性。他认为申农信息论只能解决信息传输的技术问题，而不能解决信息的语义（含义、内容）问题和信息的有效性（主观价值）问题。

在这一时期，一方面，信息论在解决技术问题即信息的传输方面取得了新的进展。1971年伯格（Berger）写了一本相当完整的专论信源编码的书。① 1973年戴维森(L·D·Davisson）对通用编码作了详尽介绍。多用户通讯问题的研究也取得了一些可喜成果。另一方面，对信息概念的扩展也取得了很大成就。例如，1971年高艾斯（Guiasu）等提出“有效信息”的概念。1978年夏尔马（Sharma）等人推广了“广义有效信息”。卡尔纳普（Carnap）等人早在1964年提出了“语义信息”。1974年哥廷格尔（Gottinger）提出“无概率（主观）信息”。1976年杰马里（Jumarie）提出“相对信息”。自1965年查德（L·A·Zadeh）提出模糊数学后，有人在模糊集合论基础上建立起“熵”和信息的概念，进一步试图建立“模糊信息论”。还有人根据计算机中的信息问题，特别是人工智能研究中遇到的大量信息处理问题，提出建立“算法信息论”的想法，等等。

另外，还要提起的是，这一时期人们对信息论的推广工作一直未曾停止过。如1972年T·D·贝肯斯坦等人利用熵的信息论解释，讨论并解决了“黑洞的热力学佯谬”。1979年卡

①T·Berger：《Rate Cistortlon Theory》1971。

克（Kak）根据这种关系和其他理论，对人肾化学自稳态功能的效率进行探讨，得出较切实际的数值。

当前，信息的概念和方法已经广泛应用于物理学、化学、生物学、心理学、经济学、哲学等学科中。一门以信息为主要研究对象，以信息的运动规律和应用方法为主要研究内容，以计算机、光导纤维为主要研究工具，以扩展人类的信息功能为主要研究目标的信息科学正在形成。

第六章　信息论的基本概念

一、信息概念

信息概念是信息理论中最基本和最重要的概念。随着人们对信息认识的深化，信息概念也在不断演化，至今已成为一个含义深刻、内容广泛的概念。

（一）信息的定义

“信息”这个词，已经成为当代社会上最时髦的词汇之一。但是到现在，信息并没有一个统一的定义。

信息在日常用语中，被人们看作是消息、情报、情况、资料、知识的同义词。这种认识是在人类长期接触、利用信息，特别是传递信息的过程中形成的。随着人类实践活动的进步，对信息的认识也日趋深化。在这方面作出了开拓性工作和奠基性贡献的是信息论的创立者申农和维纳。

1.申农的信息定义

申农在1948年发表的《通讯的数学理论》这篇奠基性的论文中，从通讯的角度提出：“能否定义一个量，这个量在某种意义上能度量这个过程所‘产生’的信息是多少？”“量$H=-\Sigma p_i log p_i$……它作为信息、选择和不确定性的度量。”①

---

①申农：《通讯的数学理论》，上海市科学技术编译馆版，第7页。

在这里，申农将信息量的公式作为不确定性的度量，实际上是把信息定义为"两次不定性之差"，即"不定性的减少的量"。

所谓不定性，是指人们对客观事物不了解，对其缺乏必要的知识而造成的对认识对象的情况"不清楚"和"不确定"。比如，某人知道朋友要来作客，但不知其何时到达，则这个人对其朋友的到达日期存在着不确定性。当其收到朋友打来的电报后，知道了朋友到达的具体日期，这时就消除了朋友到达日期的不确定性，就可说此人从电报中获得了信息。假如，接着他又收到一封来信，信中同样告诉了他朋友到达的日期，很明显，这封迟到的信已经不会给他任何信息了，因为朋友到达日期对他来讲已是确定的事情了。再如，人们对天体演化、地下矿藏分布的不清楚，对工业生产的状况、农业收获好坏的不了解等等，表示我们对这些事物情况有疑问或缺乏知识，存在"不定性"。当人们采用各种方法、使用各种手段，如通过天文望远镜的观测、资源卫星发回的照片及报表中的工农业生产的统计数字，了解到上述诸问题的有关情况，这时人们对它们的认识由不清楚变为较清楚或者完全清楚，使不定性减少或者完全消除了，于是可以说，我们获得了关于这些问题的信息。

根据申农的信息定义，我们对信息概念可作如下两方面理解：一是从通讯角度看，信息是数据、信号等构成的消息所载有的内容。消息是信息的"外壳"，信息是消息的"内核"。在同样一条消息中，对不同的人来讲，可能信息量很大，也可能信息量很小，甚至为零。二是从实用角度看，信息是指能为人们所认识和利用的，但事先又不知道的消息、情况等。也就是说信息对于收信者来讲，应该是有用的

和未知的东西。

2.维纳的信息定义

维纳在不同时期，从不同角度给信息概念作了如下规定：

（1）信息不是物质也不是能量。维纳在1948年出版的《控制论》一书中指出："机械大脑不能象初期唯物论者所主张的'如同肝脏分泌胆汁'那样分泌出思想来，也不能象肌肉发出动作那样能以能量的形式发出思想来。信息就是信息，不是物质也不是能量。不承认这一点的唯物论，在今天就不能存在下去。"①维纳在这里虽未正面回答什么是信息，但却在信息与物质、能量之间划了一条严格的界限。这是在没有完全把握被描述事物本质的情况下，用排他法把待描述的事物从众多事物中抽取出来。他提出的这一命题，为后人进一步研究信息的概念指明了方向。

那么，信息与物质、能量有何区别呢？

关于信息与物质的区别：

第一，任何一个物体当它转移到别处时，原来的地方就不再有这一物体了。而信息则不同，当某人将其知道的信息传播出去以后，他自己仍然占有这个信息，不会丢失。

第二，物质都具有质量，而信息则不同，它虽离不开一定的物质载体，需要借助于文字、语言、图象等具体物质形式表现出来，但它本身却没有质量。

关于信息与能量的区别：

第一，信息的内容及其所起的作用不取决于传递信息所消耗的能量，其内容取决于信源。例如打两份电报，字数相同，所需能量相等，但信息量则对收信人来说可能大不相同。

①维纳：《控制论》第二版，科学出版社，1963年版，第133页。

第二，能量可以相互转化，而且是守恒的。而信息则不遵守能量守恒定律，常常由于传递过程中所受到的干扰，造成信息的损失。

但是，信息与物质、能量的关系又是十分密切的，它们经常是巧妙地结合在一起为人类服务。有人用我国的一句俗语："巧妇难为无米之炊"来形容这三者之间的关系。要做出一顿可口的米饭，必须有三方面的条件：米——物质，火——能量，巧妇——观察信息并控制炊事过程。显然，没有米、没有火，巧妇再巧也做不出米饭来。同样，有米、有火，如果没有观察信息（掌握火候）并能根据信息控制整个炊事过程的巧妇，也做不出可口的米饭。所以，米、火、巧妇这三项基本条件是缺一不可的。特别是在米、火具备的条件下，巧妇的作用更不容忽视。为了表现这种关系，有必要对"巧妇难为无米之炊"作出如下的补充，即"拙妇难为有米之炊"，以示人们对信息问题的特别关注。

（2）信息是控制系统进行调节活动时，与外界相互作用、相互交换的内容。维纳在1950年《人有人的用处》一书中认为："信息这个名称的内容就是我们对外界进行调节并使我们的调节为外界所了解时而与外界交换来的东西。"① 比如，一个工厂要搞好生产，并要生产出高质、实用的产品，那么工厂就要了解该产品的社会平均的质量水平以及市场需求量等情报，还要掌握产品的原料供应、本厂的设备以及工人技术水平等方面的情况，而后才能对工厂的生产进行正确的决策、控制和协调，达到预定的目标。在这个过程中，工厂和环境之间以及生产过程各个要素之间的相互交

①维纳：《人有人的用处》，商务印书馆，1978年版，第9页。

换、相互作用的东西就是信息。正是通过信息，调节了生产过程各要素之间、工厂和环境之间的关系，使得活动得以顺利进行。

（3）信息是系统的组织性的量度。维纳在《人有人的用处》一书中，进一步指出："消息集合所具有的信息是该集合的组织性的量度。"①苏联的茹科夫（Н·И·Жуков）在1976年出版的《控制论的哲学原理》一书中，引用了维纳的这一观点，认为"信息——这是组织的一种尺度，是控制系统及其作用的有目的地调整了的结构……。"②这就是说，系统的结构不同，给出的信息则不同，也可以说是结构决定信息。如d、o、g这三个字母，可以排成dog——狗，也可以排列成god——神。一般地说，系统结构相对于系统的作用和目的而言，结构越合理，组织程度和有序程度就越高，所包含的信息量就越大。

3.其他的信息定义

随着信息概念的广泛使用，促使许多科学工作者从不同角度对信息概念作了深入探讨，给出了各自不同的定义，概括起来主要有以下几种：

（1）信息是对事物变化、差异程度的描述。神经生理学家艾什比在其1956年出版的《控制论导论》一书中指出："'变异度'这一概念，即信息论中所讲'信息'这一概念。"③在这里，他将信息称为"变异度"。所谓变异度，是指某一集合中元素的差异程度。通俗地讲，就是事物的变化与差

---

①维纳：《人有人的用处》，商务印书馆，1978年版，第12页。
②Н·И·茹科夫：《控制论的哲学原理》，上海译文出版社，1981年版，第129页。
③W·R·艾什比：《控制论导论》，科学出版社1965年版，第152页。

异。比如，广播电台每天报导的消息、新闻，反映的是国际形势、国内动态，每天的报导各不相同，都有新内容，可以说电台广播的这些新闻、消息就是信息。假如电台天天重复报道一个消息，在内容上没有任何变化和差异，人们从中就不会获得新的东西，也就是说电台广播没有发出任何信息。

把信息称为"变异度"，这种观点在苏联比较普遍，如乌克兰因采夫（Б·С·Украинцев）在1963年曾提出："信息是控制过程中物质对象的普遍联系的特殊形式和相互关系的特殊形式。"①同样的观点在我国也有反映，如有的人曾提出，信息是表征客体的变化或客体之间相互差异或关系的东西。总之，信息必须表现出事物的关系变化与差异，提供事物在运动变化过程中出现的新的特征。

（2）信息是由物理载体与语义构成的统一体。克劳斯（G·Klaus）在1961年出版的《从哲学看控制论》一书中说："什么是信息呢？纯粹从物理学方面看，信息就是按一定方式排列起来的信号序列。但光说这一点还不足以构成一个定义。毋宁说，信息必须有一定的意义，必须是意义的载体。……由此可见，信息是由物理载体与语义构成的统一整体。"②这是说，信息不仅是通过一定的物理载体反映出来的信号序列，更重要的是信息应该具有一定的意义。如果用语言表述，则语言就要有一定的含义。除语言信息外，其他的信息也要具有一定的意义。从广义上看，人、动物、机器等的行为和动作都包含有一定的意义。比如，体育教员的示范

---

①Б·С·乌克兰因采夫：《信息与反映》，载《外国自然科学哲学资料选辑》，第四辑，第238页。

②G·克劳斯：《从哲学看控制论》，中国社会科学出版社，1981年版，第68—69页。

动作、蜜蜂的舞蹈、计算机输出的字符等等都有一定的含义。因此，不能将信息的载体和意义隔裂开来。信息的传输离不开一定的物理载体，但载体必须是意义的载体，信息是物理载体与语义构成的统一体。

（3）信息表现了物质和能量在时间、空间上的不均匀的分布。冯·诺意曼（J·Von Neumann）1958年在《计算机和人脑》一书中提出："用来传送信息的消息，它的唯一统计性质，就是脉冲的频率（每秒钟的脉冲数），……消息是一种周期性或近似周期性的脉冲序列。"①例如，电视台播放的电视图象，广播电台广播的节目，都是由通讯系统所发射的电磁波（伴随一定的能量）表现在时间、空间上的一系列的不均匀的分布。正是由于电磁波和能量在时间、空间上的不均匀分布，我们才能从电视机的荧光屏上看到色彩不同、深浅有别的各种图象，才能从电视机或收音机中听到音调高低不同、速度快慢有别的各种声音，从而给我们送来各种各样的信息。同样，遗传信息与核苷酸的排列顺序有关；计算机的技术信息与所输入的指令和程序有关；社会语言信息与声、词、句形的排列组合有关；自然景色给人们的信息，则与光线的强弱，山脉的褶皱，瀑布的喧腾，树叶的颜色有关。任何事物和系统，不管其具体状态如何，只要它的物质和能量在空间和时间上出现分布不均匀的情况，就有信息产生。

综上所述，不论是信息论创立者申农和维纳的信息定义，还是其他学者的信息定义，都是从不同侧面提出来的，都在一定程度上揭示了信息的本质和特征。这些观点，对人

---

①冯·诺意曼：《计算机和人脑》，商务印书馆，1979年版，第58页。

们深入研究信息的本质，以期形成统一的信息概念，具有十分重要的指导意义。

（二）信息的特性

目前，信息与物质、能量被并列为客观世界的三大要素，是维持社会活动、经济活动、生产活动的重要资源之一，在人类认识世界、改造世界的活动中发挥着越来越重要的作用。信息之所以有如此巨大的作用，是和其特性分不开的。

信息的主要特性有以下几个方面：

1．信息具有客观性

信息是客观事物运动状态和变化规律的反映，其反映的内容是不以人的意志为转移的客观存在。因此，从信息的内容讲，具有客观性。另一方面，世上万物是客观存在的，它们的运动状态和变化规律一经成为信息，信息也就具有客观存在性。所以，正确地认识和处理信息，是正确认识客观事物的捷径。了解信息的这个特性，就能更好地利用信息，使信息为人类造福。

2．信息具有价值性

信息以它无形的力量服务于社会，已经成为人类社会不可缺少的重要资源，这已成为人们所公认的或共同的价值观。就信息的使用价值而言，有其明显的特点。

（1）信息的使用价值具有多样性。面对同一客体，不同的人会从中获得不同的信息，取得不同的使用价值。例如，一群文艺工作者和科技工作者到西双版纳去考察，画家注意的是五彩缤纷、千姿百态的景色，从而创造出优美的画面；音乐家则注意聆听大自然的奇妙音响和韵律，为能够创作出美妙动听的乐曲寻求素材；生物学家留心观察的是罕见

的动植物品种，为动植物的研究积累着资料；生态学家则关心森林的生长和保护情况，从而得出该地区生态平衡的状况及防护措施。在这里我们讲一个真实的笑话，很能说明这个问题。英国诗人阿尔弗列特·捷尼逊在他的一首诗中曾经写道："每分钟都有一个人在死亡，每分钟都有一个人在诞生……"。诗歌发表后，诗人收到一位数学家的来信。信中说："阁下！我特别指出您的诗句中有不合逻辑的地方，根据您的说法，地球的人口将是永恒不变的。但事实上，地球上的人口是在不断增长的，每分钟相对地都有1.16749人在诞生，这与您诗句中的数字是有出入的。为了符合实际情况，如果您不反对，我建议您使用$1\frac{1}{6}$这个分数，即将诗句改为："每分钟都有一人死亡，每分钟都有$1\frac{1}{6}$人在诞生……。"诗人见信后，哭笑不得。可见，数学家与诗人对同一个数字信息的价值观点是绝然不同的。数学家特别讲究数字的精确性，即使是对数字的四舍五入也特别小心。但这一点对于诗人的创作并不那么重要，诗人所重视的只是诗句的韵律和哲理。

（2）信息的使用价值具有相对性。由于人的知识素养与思维方法不同，以及理解处理问题的能力不同，对于同一信息，可以得出截然不同的价值观。例如，美国一家鞋厂，派出两个市场情报员到非洲某地调查，他们观察到当地大多数人都打着赤脚，其中一个情报员认为鞋的销路在这里一定很大，并立即向厂方发出"需要量很大，尽快来货"的信息；而另一个情报员则用固定不变的眼光看问题，认为这个地区的人不需要穿鞋子，向厂方报告的信息是：这里的人习惯于赤脚，不需要鞋子。结果厂方采用了前者的报告，很快

在这个地区打开销路，收到显著的经济效益。可见，同一信息，由于两个取信者的理解、判断能力不同，造成了极大的价值差异。

3.信息具有时效性

由于客观事物的不断发展变化，使反映其变化规律的信息源源不断地产生。信息活动是动态的，信息是有寿命、有时效的。因此，信息一经产生，就应加快信息的传输，减少信息的滞留时间。

实践证明，信息灵通就可捷足先登，反映迟钝就会坐失良机。信息的时效性是非常明显的，人民日报1988年5月6日刊登的一则报导就很能说明问题。在我国政府代表团访问墨西哥期间，墨西哥贸易和工业促进部副部长路易斯·布拉沃对我国客人说，在两国贸易中，墨西哥长期处于很大的顺差地位，希望推动中国产品向墨西哥的出口，并向我方人员披露，为了促进贸易开放，现在外国的家用电器产品已不需要申请许可证，平均关税已降低到20%。他指出，中国在这方面的产品是有竞争性的。最后他还风趣地说："我们的商人可能还不知道怎样才能买到中国服装。"在我们还未做出反应、墨西哥纺织品进口配额刚刚取消4天的时候，美国、南朝鲜、香港的纺织品和服装推销商已经来到了墨西哥，率先占领了市场。由此可见，快速地掌握信息，对于发挥信息的作用、提高信息的使用价值是十分重要的。

4. 信息具有共享性

信息的共享性是指信息的共用性。它的这一特性可以从以下两方面理解：

（1）信息的交流不同于实物的交流。在实物的交流中，一方得到的正是另一方失去的。而在信息的交流中，一

方得到了新的信息，而另一方并无损失，双方可以共享信息。例如，一位教师，将他的知识教给了学生，学生得到了知识，但教师并没因此而丢失了这些知识。

（2）信息是人类的共同财富。例如，一项重大的科研成果，可以使很多人掌握后转化为现实的生产力，促进生产的发展。

5．信息具有延续性和继承性

信息不同于物质产品的消耗，它具有延续性和继承性的特点。特别是知识信息，在社会上的作用是深远的，它可以被一代一代地记忆、存贮、传递下去，受益于人类。

信息的这一特性，可使人类继承前人已经获取的知识，探索新的领域的秘密，开发新的知识源泉。正象牛顿曾经感慨地说过的："如果我比笛卡儿看得远些，那是因为我站在巨人的肩上的缘故。"我们知道，直接探索、认识一个未知事物的新信息是极其困难的，而理解接受一些间接的知识性信息，则简单、省事得多。为了研究天体，必须利用前人制造的科学仪器和他们的科研成果才能解决问题；为了探明地下宝藏，必须充分利用前人积累的地质资料。为此，我们应该重视学习科学知识，最大限度地获取信息，为社会创造更多的财富。

6．信息具有可传递性

信息可以通过一定的载体进行传递。例如，一台精彩的文艺节目，可以通过摄影机、无线电广播传送到全国各地，供人们欣赏。信息的这一特性，使信息能够突破时间和空间的限制，促进信息的开发和利用。在信息传输的过程中，应注意以下两点：

（1）提高信息传输的质量。在计算机应用中有一句名

言："输入的是垃圾，输出的仍然是垃圾。"在社会生活中，信息每时每刻都在大量产生，并且通过多种渠道传递给我们，由于种种原因，不可避免地会有许多过时的、失真的信息混杂其中，形成信息污染。这就要求我们加强对信息的管理，把好信息输入关，使自己获得准确、可信、可用的信息。

（2）提高信息传输的速度。信息传输的快慢，对于信息的效用和价值至关重要。传输快，信息的效用大，价值高；传输慢，会使信息降低价值以至完全失去效用。

总之，为了有效地控制一个系统的运行，建立一个高效率、高质量的信息系统是非常重要的。

7．信息具有可压缩性

信息的可压缩性就是信息的可加工性。客观世界存在着大量的、不同类型的信息，而各个层次的人对信息的需求又是千差万别的。为了更好地开发和利用信息，就需要对大量的信息进行科学的筛选、加工、整理、归纳，使其精练、浓缩，提高时间效用。

例如，听人作报告是我们经常遇到的事情。有的报告虽然不长，但能给人以大量的信息，使人感到新鲜、解渴；有的报告虽然长篇累牍，洋洋万言，但使人感到枯燥无味，听后不知其所以然。由此可见，对信息的去粗取精、去伪存真、由表及里的加工，是获取高质、大量信息的关键。

8．信息具有可开发性

信息作为人类社会的资源，有待于人类不断地探索和开发。

由于客观事物的不断发展和变化，反映事物发展变化的信息会出现"老化"现象。"老化"的信息不再能客观地反

映物质世界的运动状态及规律，因此人类应不断认识新事物，探讨其新规律，开发出新信息。

此外，信息本身是可以再生和增殖的。在科学的历史上，往往一个新的发现会触发多种可能的信息。例如，1897年英国物理学家约·汤姆逊发现了电子的存在，这一发现，立即推动科学产生了多方面的飞跃。电子的发现，使科学家对阴极射线有了新的认识，它与以后发现的X射线和放射性现象一起，打开了现代物理学的大门，使物理学的研究对象由宏观低速领域进入到微观高速的领域；电子的发现，使其成为基本粒子家族中的第一个成员，随后又发现了质子、中子等基本粒子，促成了基本粒子理论的确立；电子的发现，导致了核衰变理论的建立，并开拓出核化学的广阔天地；电子的发现，为发展分子理论提供了新的事实材料；……。信息的这种增殖性，说明了信息与信息之间的联系不是单向、平面、静态的，同一信息可以以不同身份出现在不同的领域中，并与这些领域的信息相联系、相沟通，从不同角度激发人的思维，产生出新的信息。因此，对信息资源的开发大有所为。

总之，人类的任何实践活动，都离不开信息。信息的收集、积累越丰富，传递处理速度越快，开发越充分，人们的认识就越全面，实践活动的目的性就越强，取得的经济效益和社会效益就越大。

二、通讯系统

所谓通讯是指发信者和收信者之间的信息传递。由信源

（发信者）发出信息，通过信息通道传送信息，再由信宿（收信者）获取信息，这就构成了通讯过程。申农根据通讯过程，建立了通讯系统的结构模型。如图6—1所示。

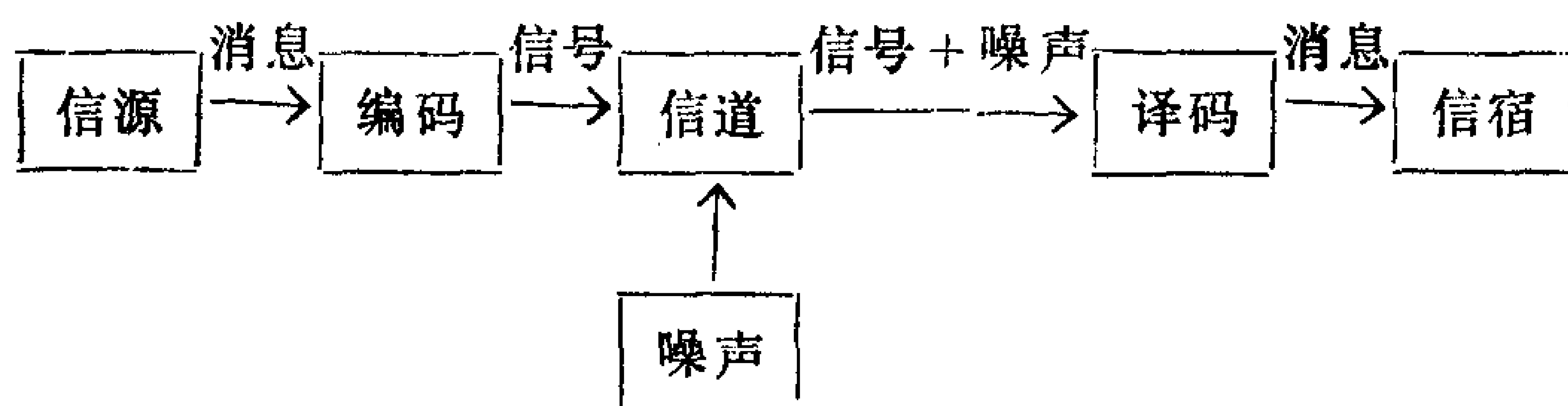


图6—1　通讯系统模型

我们先举一熟悉的例子，对这一模型作一通俗的解释。例如，你的朋友从外地给你打来一份电报，那么你的朋友就是信源，你本人就是信宿。电文经发电的邮局翻译成电码，这就是编码，然后通过发报机即信道，传到你所在地的邮局，经过翻译，即译码，将电码译成原文，最后送到你手中。这样就完成了一次通讯。也就是说，任何通讯过程，无论是日常生活中的电报、电话，还是人造卫星和地面站的通讯联络，这些过程都可以被分析为上述框图的模式。当然，不同的通讯系统有着不同的信源、信道、信宿以及不同的编码、译码的方法，但它们所起的作用都是一样的，都是将信息从信源传递到信宿的传输系统，因此人们又将通讯系统称为通讯手段。下边就模型中的概念做一些简单介绍：

（一）信源

信源就是信息的来源，即信息的发送源。这种信息的发送源，可以是人或机器，也可以是自然界中任何其他物体。

信源发出的信息在形式上各不相同，它们可以是文字、

图象，也可以是语言、电磁波，我们把它们统称为符号或信号。表示信息的这些符号或信号就是消息，消息是信息的载体。此外，被信源发出的消息常常具有随机性，即不确定的。如果发出的消息是确定的或预先已知的，那么这种消息对于信宿来讲就毫无意义，更无信息可言。因此，作为信息载体而出现的消息应是随机的或者具有不确定性。

（二）编码

所谓编码是指将信息变换成某种信号的措施。最初，编码是指把文字变换成由点、划和间隔的空位组成的电码。这种电码容易通过收发报机系统进行传递，著名的莫尔斯编码就是其中的一种。

由于信息概念的广泛使用，编码的概念也随之推广。广义地讲，编码就是把一种形式的信号变换成另一种形式的信号的措施。例如，通过人脑将语言、文字按一定的语法结构和规则进行编排，形成表达一定思想的内容；又如电话话筒把声音转换成电信号，也是编码。总之，编码的目的完全在于将信号变换成便于在相应信道传输的形式。

（三）信道

所谓信道是指信息传递的通道，亦是传递信息的媒介。不言而喻，信道的主要任务是传递信息。信道的关键问题是信道的容量，即使信道能以最快的速度传递最大量的信息。

信息的传输过程，从一定意义上讲又是信息的存贮过程。例如用书信传递信息，发信人将信息写在纸上，通过邮寄转到收信人手中，使其得到信息。这是一个信息传递过程，同时也是一个信息存贮过程。因为在整个通信过程中，

信的内容都存贮在信纸上，信纸就成了存贮信息的载体。又如，两人交谈，虽然传递过程极其短暂，但总是需要一定时间，那么在这段时间中，空气就起到存贮信息的作用。特别是在现代的通讯系统中，采用计算机通讯时，由于计算机本身就有存贮功能，当输入信息后，即可待时传输，存贮作用尤为明显。因此从广义上讲，信道的传输过程也是存贮过程，最大容量地存贮信息是信道的又一任务。

信道是多种多样的。有线信道，如同轴电缆、光导纤维；无线信道，如自由空间、电离层等。在复杂的电讯系统中，信道不是单一的，而是多路的，信道的数量很大，它联系众多的信源、信宿而组成通讯网络。

（四）噪声

噪声是指在信号传递过程中，通讯系统内部产生的以及系统外部混入的种种干扰。如电视屏幕上闪烁的“雪花”，打电话时出现的“嘶嘶”声，都是噪声的干扰。噪声对信号的传送起着负作用，影响着通讯的效果，从而造成信息的某些失真。为了防止信息失真，就要采用滤波技术加以排除。

（五）译码

所谓译码是指把信号翻译成文字、图象、以及语言所表达的思想内容，使信号变成原来的信息。由此可知，译码过程与编码相反，译码是编码的反变换。

（六）信宿

信宿是指信息的接收者。信宿可以是人，也可以是机

器，如收音机、电视机等。

最后应当指出的是，申农提出的这一通讯系统模型，不仅适用于通讯系统，也可以推广到其他非通讯系统。在非通讯系统中，一般被称为信息系统。例如，管理系统就可以被看成一个信息系统，其中基层单位可以看作信源（或信宿），领导机关可以看作信宿（或信源），各种机构、组织、了解情况的一些渠道则为信道，各种报表、数据、指令即为信息。此外，如遥测系统、遥感系统、控制系统等都可以看作为信息系统。

三、信息量

所谓信息量就是用来度量信息大小的量，它是信息论的中心概念。

信息量是有大小的，这是人们在日常生活中，根据常识和经验早就认识到的事实。其一般规律是：反常的事件比正常的事件所含信息量大；牵涉面广的事件比牵涉面窄的事件所含信息量大；稀有事件比正常事件所含信息量大。对个人来讲，与其关系大的事件比无关紧要的事件所含信息量大；偶然发生的事件比经常发生的事件所含信息量大；等等。这些对信息量的定性估计，在对事物进行宏观分析时，无疑具有一定的价值。但这种方法毕竟比较粗糙，没有上升到科学的理论和方法的高度。正象人们天生对“冷”与“热”有着灵敏的感觉一样，但在没有找到客观地、定量地确定冷热程度的方法之前，对于冷热现象的研究就没有上升到理论高度，只有在温度概念的提出和温度计发明之后，才使这一研

究成为一门真正的科学。同样，也只有在申农提出度量信息的科学方法，使通讯理论由定性进入定量阶段之后，对信息的研究才被公认为一门完善的科学。

（一）信息的度量排除了语义因素

从广义上讲，任何物体发出的信息既有一定的形式，又有一定的内容。数学是刻画运动形式的工具，将信息形式化并对其进行定量的描述是不困难的。但是，要定量地刻画出信息的内容，至今还是一个巨大的难题。例如，人们所传输的消息，是以日常语言为基础的，就语言的含义——语义来讲，就是一个非常复杂的问题。有的词可以是多义的或具有不同甚至相反的含义，有些词的含义会随着时间、环境的变化而变化。另外，不同的人对于词义的理解又可能大不相同，经常会出现对于同一消息，从中提取不同的信息内容的情况。因此，想用一个统一公式对信息的内容或语义进行定量的描述，就目前来说是办不到的。

申农看到了这一信息量度中的难题，于是他仅从通讯技术的角度研究了信息的度量问题，从而避开了这一难题。他指出，通讯只不过是信息的传输，因此可以把它看作是"在通讯的一端精确地或近似地复现另一端所挑选的消息……至于通讯的语义方面的问题，与工程方面的问题是没有关系的。"①这里申农所讲的语义，就是指信息所具有的内容或含义。由于通讯的任务只是单纯地复制消息，在信息传输的过程中并不需要对被传输的信息语义做任何判断和处理，因此信息的语义与通讯技术无关。只要我们能够在通讯接收端

①申农：《通讯的数学理论》，上海市科学技术编译馆版，第1页。

把发送端发出的消息从形式上复制出来，并且这种复制又是"精确的"或"近似的"，实际上也就等于信息的语义被客观地复制出来了。这种信息传输问题上形式与内容的辩证关系，可以使我们只考虑形式因素，仅将消息视为一串信号或符号，将其语义因素加以排除，把信息形式化，以便从数量上对信息进行描述。这正是申农所提出定量描述信息方法的出发点。

（二）信息量是对事物不定性减少程度的度量

在申农信息论中，信息被看作系统的不确定性的减少。不确定性是与"多种结果的可能性"相联系的，如果事物只有一种可能性，是不存在不确定性的。在数学上，这些可能性是以概率来度量的。事实上，信源产生的通讯信息，正是概率论中所研究的随机现象。很自然，信息的定量描述就可用概率的方法来实现。

如果我们事先知道某一事件出现的概率是P，有一个消息使我们知道这一事件的确发生了，则可以说我们获得了一定量的信息。作为一个极端的情况，如果事先知道某事件肯定会发生，此时其出现概率$P=1$，如果有消息告诉我们这件事的确发生了，对于我们来讲并没有消除任何不确定性，所得信息量为O。由此可知，从收信者即信宿角度考虑问题，所获信息量的大小与概率的大小有着密切的关系。某事件发生概率越大，当有消息证实其确实发生了，则从中获得的信息量越小；若事件发生的概率越小，当有消息证实其确实发生了，则从中获得的信息量越大。这与我们的常识也是相符合的。这种关系，正如申农在《通讯的数学理论》中指出的：采用对数作为信息的度量，在数学上比较合适。一般地说，若某

事件出现概率为P，则这一事件所具有的信息量为：

$$h=-\log p$$

其中以2为底的对数，单位称比特（*bit*），这是信息量最常用的单位。

例如，向上抛出一个质地均匀的硬币，它只有两种可能性状态：正面朝上或反面朝上。每次试验只可能出现两种结果中的一种，即二者必居其一。它们的出现概率各为0.5，则每个状态所具有的信息量为：

$$h=-\log_2\frac{1}{2}=1\text{（比特）}$$

由上可知，1比特就是含有两个独立等概率可能状态的事件，择其中之一时所具有的信息量。因此，任何一个事件系列，如果能够分解成n个等概率的二中择一事件，它的信息量就是n比特。

如果对数以3为底，信息量的单位称铁特（*Tet*）；以e为底的对数，单位称奈特（*Nat*）；以10为底的对数，则单位称笛特（*Det*）。这些不同的单位可以相互转换。

另外，信息的定义还可以表述为：两次不定性之差。根据这种说法，我们还可将信息量的公式写成：

$$h=-\log P_1-(-\log P_2)=-\log\frac{P_1}{P_2}$$

其中P_1为事先知道某个事件发生的概率，P_2为获得一定信息后知道该事件发生的概率。

例如，到一个600（20排，每排30个座位）个座位的剧场找人，则可知此人在某个位置上出现的概率为1/600，当有人告诉你被找人坐在单号座位上时，则他在某个位置上出现的概率为1/300。则从这条消息中所得信息量即为：

$$h=-log_2\frac{1/600}{1/300}=-log_2\frac{1}{2}=1\text{（比特）}$$

也就是说在得到这一信息前后，两次不定性数量之差为1比特，即这条消息所含信息量为1比特。

（三）平均信息量——负熵

前边所讲的信息量h是从信宿角度来考虑的，即信宿信息量。它是指信宿收到信息后所消除的不定性的数量。这是指主体对客体的不定性消除的程度，所以，信息量h只有在信源输出符号被接收者收到后才有意义。可以看出，当信息传输过程中没有任何干扰存在，信源的发出信号与信宿收到信号一一对应时，信宿收到的信息量等于信源发出的信息量。在信息传输的过程中，如有干扰存在，就会造成信息的一定损失。这时，信源发出的信息量与信宿收到的信息量就不会相等。这里，信源所发出的信息量叫做信源熵或信息熵，它在平均意义上表征了信源的总体特性，即信源在客观总体上的平均不定性的量，一般用符号表示为$H(X)$。

信息源一般是以符号的形式发出信息的，它是一系列符号的集合。信息源发出的符号是随机的，构成的消息也是多种多样的。由于信源发出的符号有多种可能性，当我们接收到一个符号，就得到一部分信息，接收到另一个符号，就得到另一部分信息。这样，信源可能发出的全部符号所包含的信息量之和，就是信源所具有的总信息量。为了更好地表征信源的总体特性，就需取其平均值，即计算出信源发出的每一个符号所包含的平均信息量，这个平均值就是信源平均信息量，即信息熵。

设某信源发出一组符号，可以将它们看成各自独立的一系列可能状态（或结果），记为x_1，x_2，…，x_n，相应的概率为p_1，p_2，…p_n，且$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$，则

$$S=\begin{bmatrix} x_1 & x_2 \cdots x_n \\ p_1 & p_2 \cdots p_n \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} X \\ P \end{bmatrix}$$

其中$X=\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$，代表随机事件的整体(或随机事件集)，$P=(p_1, p_2, \cdots, p_n)$是变量$X$的概率分布，$S$为信息结构。采用对数作为不定性的度量，则某个状态的不定性的量为：

$$h(x_i) = -\log p_i \qquad (i=1, 2, \cdots, n)$$

整个信源的各状态所具有的平均不定性数量就是$h(x_i)$的数学期望，即

$$H(X) = \sum_{i=1}^{n} p_i h(x_i) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i$$

这就是申农计算信源信息量的一般公式，即信息熵公式。

例如，掷一质地均匀的骰子，骰子就是信息源。经过多次试验，每一面朝上的概率都相等，即$p_1=p_2=\cdots=p_n=\frac{1}{6}$。则整个掷骰子试验的不定性的量为：$H(X) = -\sum_{i=1}^{6} \frac{1}{6} \log \frac{1}{6}$。这个量也就是骰子这个信源所具有的信息熵。

申农信息熵的公式，与物理学中熵的计算公式仅差一个负号。因此，维纳说：“信息量是一个可以看作几率的量的

对数的负数，它实质上就是负熵。”① 信息熵与熵的这种关系并不是偶然的巧合，它们之间存在着非常密切的内在联系。

熵这一概念是德国物理学家克劳修斯（K·Clausius）1864年在《热之唯动说》一书中提出来的。后来又经波尔兹曼等人做了进一步解释。他们认为：在由大量粒子（原子、分子）构成的系统中，熵就表示粒子之间无规则的排列程度，或者说，表示系统的紊乱程度。系统越“乱”，熵就越大；系统越有序，熵就越小。正如维纳所说：“一个系统的熵就是它的无组织程度的度量。”②

我们知道，信息正是表示系统不定性的减少。一个系统不定性越大，则系统就越无序，越混乱。不定性消除了，系统也就稳定了，无序状态也就随之消失。例如，一个学生参加高考后，可能结果有多种：考上大学；没考上大学；考上理想的大学等等。在发榜之前，该生的思想处于一种不确定的、无序的混乱状态。当得知考上自己所理想的大学之后，思想上的不定性或混乱状态就消除了。因此，一个系统所获信息量越大，系统就越有序，熵就越小。反之，所获信息量越小，系统就越无序，熵就越大。由此可知，信息与熵是互补的，它们的这种互补关系，表现在计算公式上仅差一个负号。它表明负熵与熵描述的是同一事物的两个相反方向。正象有些科学家指出的那样，“熵的获得永远意味着信息的丢失，而不是别的。”

①维纳：《控制论》第二版，科学出版社，1963年版，第65页。
②同上，第11页。

第七章　信息方法

信息方法这一术语，是控制论的创始人维纳在其1948年出版的《控制论》一书中提出的。他指出："任何组织所以能够保持自身的内在稳定性，是由于它具有取得、使用、保持和传递信息的方法。"①但他并没有对"信息方法"这一术语的含义作出明确的解释，也没有将其作为一般的科学方法加以阐述。

后来，苏联的C·Л·索波列夫在1955年的《控制论的若干基本特征》一文中，明确提出信息的观点具有一般方法论的意义，并肯定了可将控制论、信息论的一些理论作为一种普遍的原理和方法。②但索波列夫对什么是信息方法这个问题，也没有一个比较成熟的看法。

在我国，信息方法作为一种具有普遍方法论意义的科学研究方法，是在1979年出版的《自然辩证法讲义》一书中被介绍的。书中着重阐述了信息方法的特点和作用。

一、信息方法的特点

所谓信息方法，就是运用信息的观点，把系统看作是借

①维纳：《控制论》第二版，科学出版社，1963年版，第160页。

②C·Л·索波列夫等：《控制论的若干基本特征》，载《外国自然科学哲学资料选辑》第四辑，第41—50页。

助于信息的获取、传送、加工、处理而实现其有目的性的运动的一种研究方法。如图7—1所示。

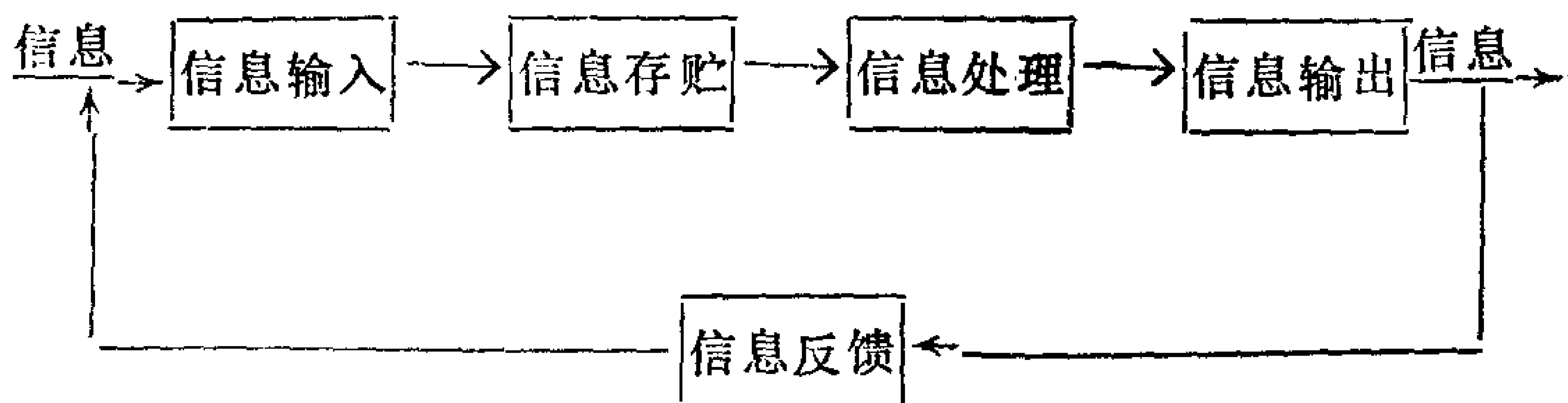


图7—1 信息方法

从信息方法的具体过程可以看出，信息方法始终着眼于信息，它把系统有目的的运动抽象为一个信息变换和传输的过程，通过信息流的正常流动，特别是反馈信息的存在，使系统实现预定目的或向目的逼近。

维纳在控制论的研究中，运用信息方法分析了人与外界环境相互作用的关系。他指出，人通过感觉器官感知周围世界，在脑和神经系统中调整所获得的信息，经过适当的储存、校正和选择等过程进入效应器官。这些效应器官反作用于外部世界，与此同时，又通过运动感觉器官末梢这类感受器，再作用于中枢神经系统。运动感觉器官所收到的信息又同已经储存的信息结合在一起，影响将来的动作。维纳把人类作用外界的行为，归结为信息的传输和变换的过程。人类正是凭借信息感受器官感知周围世界的一切变化，根据这种变化，由大脑作出决定，调整自己的行动，改变着自己与环境斗争的策略。在他看来，人类接收和使用信息的过程，就是适应外部世界偶然变化的过程。

信息方法不同于传统的研究方法。它是一种直接从整体

出发，用联系的、转化的观点综合研究系统过程的方法。信息方法相对于传统的研究方法而言，有如下特点：

（一）以信息为基础，把系统有目的的运动抽象为一个信息变换过程

传统的方法注重的是物质和能量在事物运动变化过程中的作用，而信息方法是以信息的运动作为分析和处理问题的基础，在分析和处理问题时，它完全撇开系统的具体运动形态，把系统的有目的的运动抽象为信息变换过程。它根据系统与外界环境之间的信息输入和输出关系，以及系统对信息的整理和使用的过程，来研究系统的特性，探讨系统的内在规律。

信息过程存在于一切组织系统中，如技术系统中的通讯、控制、火箭、导弹制导、电子计算机……；人或生物系统中的生命现象、各感觉器官与外界的接触、神经中枢与各个感官之间的联系、大脑的记忆与指挥；人类社会系统中的生产过程和经济管理、交通管理等，都可以把它们抽象为一个信息传输和变换的过程，因而都可以利用信息方法揭示系统特征和其内在规律性。

（二）直接从整体出发，用联系、转化的观点，综合研究系统的信息过程

传统方法在研究问题时，注重采用的是剖析法，这往往割断系统的内在联系，容易用孤立、静止的方法来研究事物，并在剖析的基础上进行机械的综合。因此，传统方法对于复杂的系统，特别是活的有机体，往往显得无能为力。信息方法是用联系、转化的观点，综合研究系统运动的信息过程。

在对复杂事物进行研究时，不需要对事物的整体结构进行解剖分析，而是从其信息流程加以综合考察，获取关于系统整体的性能和知识。因此，信息方法乃是现代科技领域中研究事物的复杂性、系统性、整体性的一种重要方法。

（三）对抽象出来的信息过程能够作定性和定量分析

任何科学在研究问题时，不仅要对所研究的问题进行定性分析，而且要进行定量描述。定性是定量的基础，而定量则是定性的精确化，只有两者兼备才能称得上是一门完整的科学。信息方法作为一种比较完善的科学方法，就在于它能对抽象出来的信息过程做出定性和定量的分析。

所谓定性分析，一方面是要判明信息过程的信息种类，以确定其所属的领域，如看其是生物信息还是经济信息；是社会信息还是工程技术信息；是概率信息还是模糊信息；是有价值的信息还是无价值的信息；如此等等。另一方面还要对信息过程中的存贮方式、传递方式、编码方式、解码方式、发射方式、接收方式、转换方式、处理方式、使用方式等等进行定性研究。所谓定量分析，就是运用概率统计、模糊数学、集合论等数学方法，对信息的主观、客观方面，传输、使用方面，以及量度和语义方面等，作出定量的研究，并运用定量分析的成果加深对信息过程的本质的认识。

二、信息方法的基本步骤

（一）进行信息抽象

信息方法以信息概念作为分析和处理问题的基础，在运用信息方法处理问题时，首先要对实际系统的运动过程进行信息抽象。根据研究对象和由它发出的信息之间某种确定的对应关系，撇开研究对象的物质基质、结构和具体的运动形态，仅从系统的通讯和控制的角度，把研究对象解释为信息及信息传输和变换过程。例如，我们用信息方法分析管理组织的管理过程，可以把人员、资金、设备、物资等管理要素及其情况，抽象成与其相对应的数据、报表等信息形式，把管理活动抽象为信息的传输和使用过程。通过对信息及信息过程的分析，就可以预测或评估管理系统的运行状态和实际的效果。

（二）建立信息模型

建立研究对象的各种信息模型，是信息方法的关键的一步，也是最困难的一步。信息模型有多种多样。从质上讲，有信息输入输出模型，信息存贮变换模型，信息编码解码模型，信息传递处理模型，信息作用反馈模型等等。从量上讲，有反映信息运动的数学模型，动态曲线图，输入量与输出量对照表格等等。为了建立研究系统的准确模型，必须在充分掌握第一手材料的基础上，对材料进行综合整理。利用各种知识和手段，对系统过程中的信息作出深刻的质与量上

的分析，从中建立起相应的信息模型。

（三）评判信息过程

通过对信息模型的研究以及运用信息模型对信息过程进行模拟，从而评判被模拟过程的功能，阐明原型的机理，对原型未来的运动变化和行为方式作出预测，从中探讨其内在的规律。例如，在现代生物学的研究中，人们运用建立的生物遗传信息的存贮模型（染色体模型）、编码结构模型（双螺旋编码结构模型）以及传递模型（中心法则）等，科学地解释了很多复杂的理论与实践的问题。

（四）改善信息模型

实践是检验真理的标准，对信息模型研究的结论也要经受实践的反复检验。在信息模型的研究过程中，对原型的功能、机理、过程和行为方式所作的评判、说明、推导及预测等，有的可能被实践所证实，有的可能被推翻。应根据实践检验结果，对信息模型作进一步地修改，使之更加符合实际的信息过程。以生物遗传信息的传递模型的建立为例，开始人们认为生物的遗传信息是通过“转录酶”的作用，由遗传物质DNA（脱氧核糖核酸）流入另一种遗传物质RNA（核糖核酸），然后再由RNA将遗传信息流入蛋白质的，因此所建立的传递模型为：$\text{DNA} \xrightarrow{\text{转录酶}} \text{RNA}$。后来在实践中，人们又发现了另一种酶，叫逆转录酶，它的作用与转录酶恰好相反，可使遗传信息由RNA流入DNA，因此，人们修改了传递模型，建立了更加完善的模型：$\text{DNA} \underset{\text{逆转录酶}}{\overset{\text{转录酶}}{\rightleftharpoons}} \text{RNA}$。

综上所述，应用信息方法解决问题的全过程，如图7—2所示。

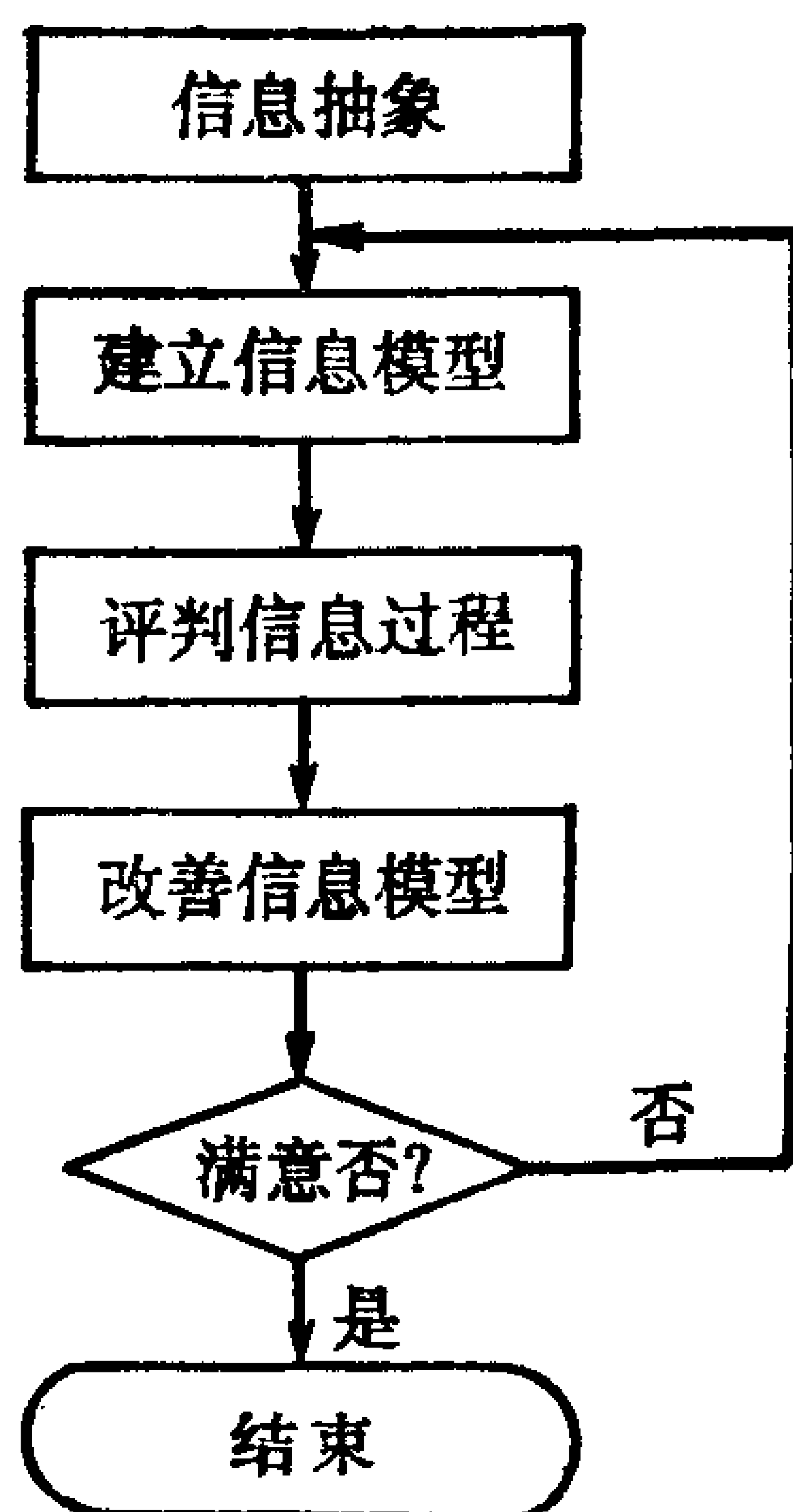


图 7—2 信息方法步骤

三、信息方法的作用

由于信息方法本身具有优于传统方法的特点，因而在认识和改造世界的过程中，得到越来越广泛的应用，也取得了越来越显著的成果。信息方法的作用，概括起来有以下三个方面。

（一）信息方法揭示了不同物质运动形态的信息联系

在客观世界中，存在着多种多样的复杂系统，如技术领域中的通讯系统、电子计算机系统，生物界中的各种动植物系统，社会生活中的经济管理系统等等。这些系统从物质的构成到运动的形态都极不相同，用传统的方法是很难发现它们之间的内在联系或共同属性的。信息方法认为，不论什么样的复杂系统，它们都需要一定量的信息作为联系的中介，通过自身获得信息和使用信息，变无序为有序，以保持系统的稳定状态，求得系统与环境的统一。因此，运用信息的方法，可将不同的系统都当作通讯和控制系统，它们之中都存在着信息的接收、传递、处理、存贮和使用的变换过程。正是由于这一信息流动过程，才使系统维持着正常的有目的性的运动。可见，信息方法揭示了不同系统的共同信息联系。

（二）信息方法揭示了某些事物运动的新规律

随着信息理论研究的进展以及在各个领域的应用和推广，人们通过信息方法揭示了某些事物运动的新规律，用信息观点对过去某些难以理解的现象作出了科学的说明。

例如，在生物界，对生物如何将遗传性状传递给子代的遗传现象，由于人类对生命活体无法用机械分割和机械综合的方法进行研究，因此对这些生命之谜一直找不到正确的答案。运用信息方法从信息的角度探讨生命之谜，科学家们提出了遗传信息理论。原来，生物的遗传过程，实质是一个遗传信息传递和变换的过程。其中DNA是遗传信息的载体，它是一种双螺旋结构的分子，携带了生命自我复制的全部信

息。DNA分子一方面自我复制产生新的DNA分子；另一方面把遗传信息传给RNA，RNA再将遗传信息翻译为蛋白质。在遗传信息的指挥下，生物就合成自身需要的蛋白质，确保亲代的遗传性状遗传下去。我们将遗传信息经DNA⟶RNA⟶蛋白质的表达过程称为信息传递的中心法则（传递模型）。遗传信息的流动过程，遵守着信息的编码、传递、变换、存贮的运动规律。在遗传信息的传递和表达过程中，如果有干扰，就可能导致组织畸变，产生遗传性的疾病。这就科学地解释了生物遗传现象的根本原因。

再如，对某些生物群体活动的现象，用信息方法也能得到科学的解释。人们发现动物之间特别是群体动物之间具有完整的发送和接受信号的通讯系统，它们可以利用气味、声音、不同运动姿态、色彩以至超声波、电磁场等多种信号来传递信息。象蜜蜂通过舞蹈、鸟兽通过鸣叫发出信息以调节群体的活动，这就是动物通讯。离开了信息方法是很难发现这些秘密的。

（三）信息方法是实现科学管理的有效手段

我们知道，管理的成败首先取决于管理决策是否正确。决策正确与否又与能否及时准确地获取足够的信息有着直接的关系。如果没有及时、准确和足够的信息，就不可能发现问题，确定目标，提出正确的方案，进行科学的决策。决策过程实际上是一个信息的收集、传输、加工和变换的过程，它贯穿于决策过程的始终。信息方法的使用是实施科学决策的基础。

任何决策都是为了行动，当目标决策、计划、方案确定之后，必须通过一系列的管理活动具体组织实施。管理过程

的每一个环节都离不开信息。从信息方法的角度看，我们可以把管理过程抽象为信息过程。整个的管理活动就是信息从输入到输出，经过反馈再一次重新输入的过程。这一循环过程的每一阶段，都离不开信息的传输和反馈。决策计划的组织实施，是根据指令信息进行的。在实施过程中，又要根据系统的状态信息进行监督管理，以检查是否偏离管理目标，这是通过反馈把系统的实际状态与原定的目标状态进行比较，通过比较找出目标偏差。根据目标偏差，管理者才得以及时发出调节和控制指令，以保证整个系统的正常运行和原定目标的实现。信息方法为组织和控制管理过程提供了依据和手段。

四、信息方法的认识论意义

人类的认识过程是一个信息过程。用信息方法分析和研究人类的认识过程，对于丰富和发展以往的认识论具有十分重要的指导意义。

（一）信息方法进一步揭示了反映论的本质和内在机制

我们知道，辩证唯物主义把认识的本质归结为能动的反映论。所谓反映，就是客观事物的特性、特征在人脑中的映象、模写或再现。这在回答认识的源泉和本质的问题上，无疑是正确的。但是，如果要进一步阐述反映论的本质是什么，即客观事物是怎样反映到人的头脑中以形成主观认识的，这在人们尚未认识信息和通过信息反馈进行控制之前是

难以回答的。从现代科学的事实看，正是通过主体和客体之间的信息传递和反馈，客观事物才能进入人的头脑，转化为主观思想，人类才能认识客观对象，进而能动地改造或者说是控制客观对象。如图7—3所示。

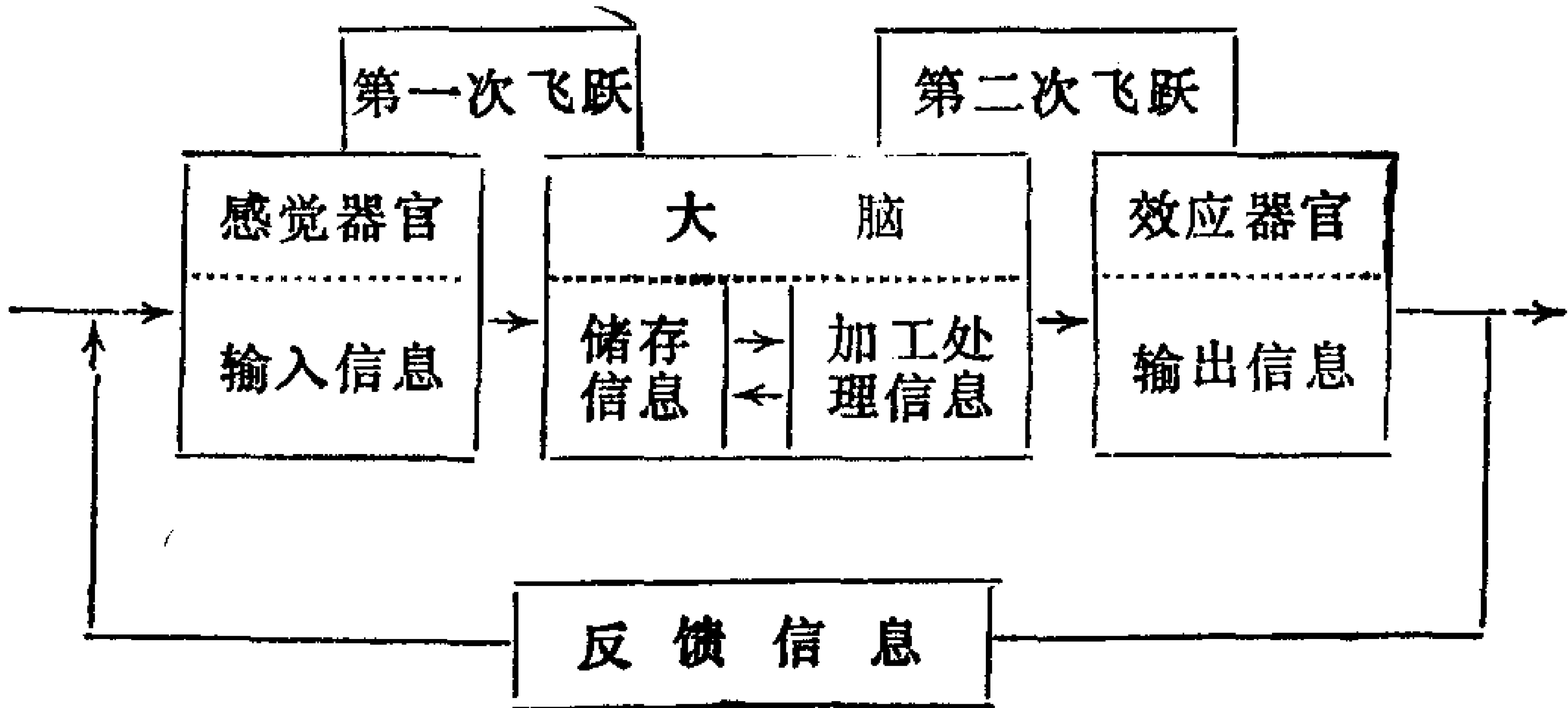


图7—3　认识过程信息流

维纳在1950年《人有人的用处》一书中，用信息的观点分析了人的认识过程，认为人的认识过程是一个信息传输和反馈的过程。按照这样的观点，我们不难看出，人的认识过程首先是通过感官感知周围世界，获得关于具体事物存在方式或运动状态的感性材料，这是认识的起点。这实际上是通过感官接受关于具体事物的结构信息或属性信息，再将信息送到大脑储存（记忆），是信息的输入过程，它相当于感性认识阶段。经过大脑的思维活动，对丰富的感性材料在记忆中进行选择抽取、逻辑加工等处理而形成概念，达到关于事物本质的认识。这实际上是信息加工、处理和变换过程，它相当于理性认识阶段。再将经过加工处理后形成的判断或决策，通过效应器官（嘴、手、脚等）反作用于外部世界，体现以主体为中心的对外部世界的能动作用。这实际上是信息的输出和使用过程，它相当于从理性认识再回到实践，指导

实践并接受实践的检验。在使用信息的过程中，如果输出信息同外界环境的客观内容基本符合，则通过反馈信息把输出信息对外界作用的结果返送给感受器官，使输入信息基本不变，信息流程基本稳定，整个系统被主体所控制。如果输出信息同外界环境的客观内容不相符合，为了适应外界环境的偶然变化，则通过反馈信息把结果返送回来，调整输入信息（如再接受新信息），并同原来储存的信息结合起来加以处理，最终使输出信息基本适应外界环境的变化。

可见，认识作为主观对客观的反映，其实质是信息的传递和反馈控制过程；实践——认识——实践过程的内在机制，是信息的获取、传递、存贮、加工和使用的过程。

（二）信息方法更加真实地描绘了认识的辩证过程

从认识的一般过程的信息流程来看，在从实践到认识再到实践的发展过程中，信息不仅依次传递，而且至少存在着两个方面的反馈信息，使认识过程形成双向环形控制系统。如图7—4所示。

在从感性认识到理性认识的阶段上，通过感官感知周围世界，并把获取的信息传到大脑，经过思维的加工制作，形成理性认识。而理性思维的每一结果，一般都要通过反馈信息返送到感性认识中去加以比较、修正，以尽可能和感性经验相一致。这是一个从感性到理性、又从理性回到感性的双向环形传递、加工信息的过程。我们通常所说的“深思熟虑”、“反复思考”、“三思而后行”，就是指的这种情况。这种情况真实地再现了感性认识和理性认识相互渗透、相互转化的辩证发展过程。这一过程中的反馈调节，起着提

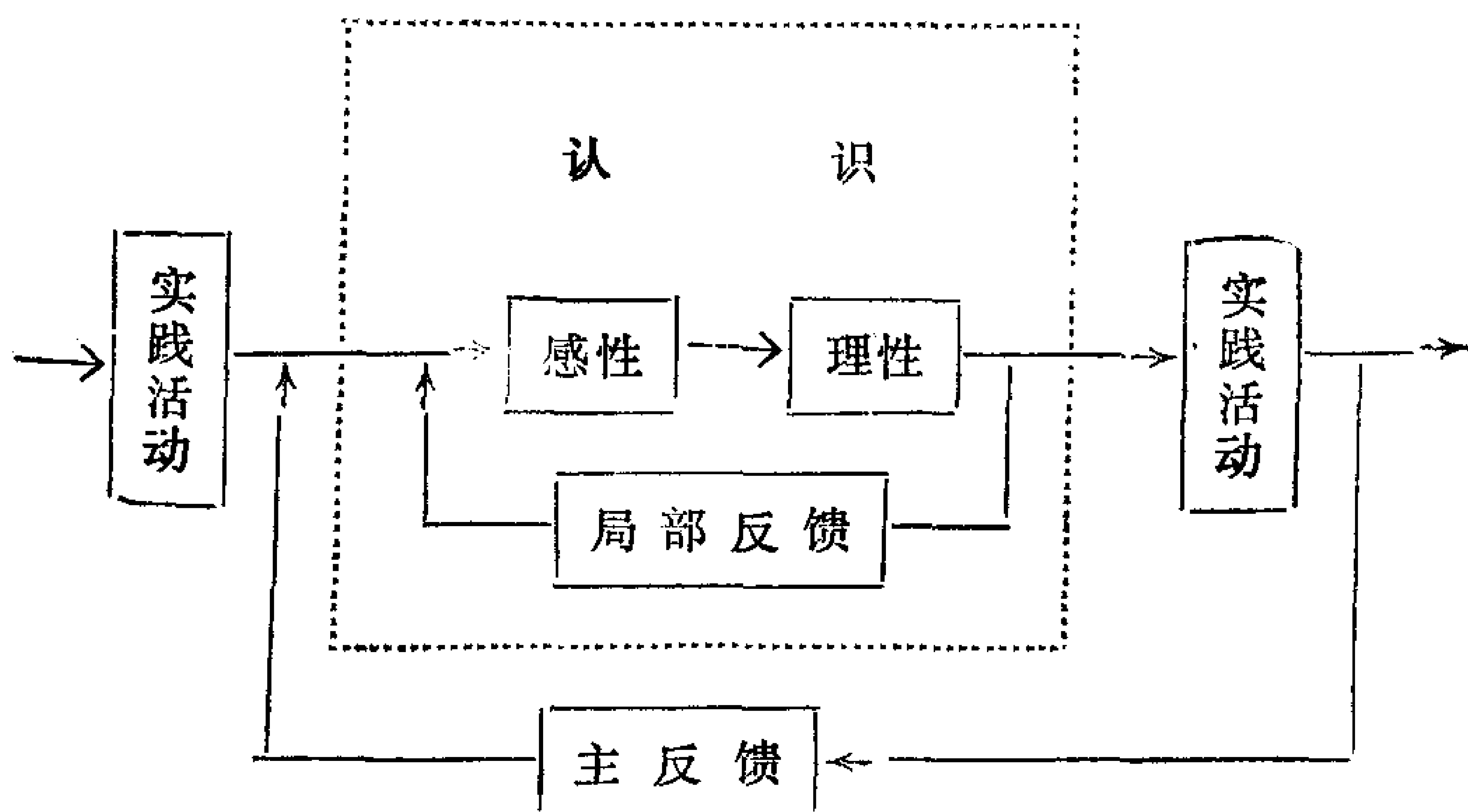


图7—4 认识过程的双向环形控制系统

高理性思维的效能、增强理论观点的准确性的作用。不过这只是一种局部反馈。理论观点一旦在头脑中达到相对成熟之后，才作为信息输出去指导实践，并接受实践的检验。这实际上是主体为达到某种特定目的而控制客体的过程。要实现主体对客体的控制，达到改造世界和检验理论的目的，反馈则是关键环节。通过反馈，随时把输出信息作用于客观对象的真实情况以及环境条件的变化回授给大脑，进行比较、核对，找出“现实状态”和“理想状态”的差异，并据此修正以至重建理论观点，以影响或调整下一步的实践活动。这也是一个双向环形传递、加工信息的过程。这个过程是多因素、多变量、多目标的反馈控制过程，它在整个认识过程中处于主要地位，所以叫主反馈。没有这个信息反馈环节，整个认识就将失去控制，从而造成理论和实践上的失误。

（三）信息方法揭示了主观和客观、理论和实践具体的历史的统一的必要条件

我们知道，从实践到认识再到实践，并在实践中达到预

想的结果，这对于某一具体过程的认识运动来说算是完成了。但是，对于过程的推移来说，人的认识不能停留在原来的水平上，要在新的实践基础上不断循环。这样，随着客观事物的永无止境地发展，人的认识才能形成一个无限上升的螺旋模式。即："实践、认识、再实践、再认识，这种形式，循环往复以至无穷，而实践和认识之每一循环的内容，都比较地进到了高一级的程度。"①这是人类认识的总规律，这个总规律表明，主观和客观、理论和实践的统一都是具体的、历史的。这一具体的历史的统一，是反馈信息与储存信息之间的矛盾推动的。

人们认识的每一循环，只具有相对真理性，当它以结果输出而付诸新的实践时，由于客观对象的运动和环境条件的变化，总会出现现实状态和预想目标之间的矛盾。现实状态以反馈信息回授到大脑，和原来的预想目标即储存信息加以比较，从而促使人们的思维重新加工、修正原来的预想，并作为再输出影响下一次实践。在这样一个通讯和控制系统中，通过反馈信息和反馈调节，使人们的认识随着客观事物的变化发展，而不断产生新的循环，实现主观和客观、理论和实践的具体的历史的统一。很明显，正是反馈信息和原来存储信息之间的矛盾，亦即实践结果和原来理论观点之间的矛盾，把认识过程从一个循环推向另一个循环，又把一个个的循环联接成规范化的螺旋曲线。设想，如果没有反馈信息和反馈调节，实践的结果也就不能不断地和原有理论观点加以比较，就会使整个认识失去控制而杂乱无章，这样的认识也就破坏了主观和客观、理论和实践的统一而不具有真理性。

---

①《毛泽东选集》合订本，人民出版社，1964年版，第273页。

反馈不仅是达到主观和客观、理论和实践相统一的必要条件，而且是实现认识最优化的基本方法。在今天人们对大脑思维的生理机制尚不十分清楚的情况下，按照信息论的观点，可以把大脑的思维过程视为一个信息的传输、加工、处理等信息变换的过程。通过借助电子计算机和运用适当的数学方法，计算出信息量，并通过反馈系统把输出信息的作用结果，及时、准确地回授给大脑，以反馈信息和预想目标（即存储信息）的误差率，表征主观认识和客观事物的符合程度。通过最大限度地消除误差，达到主观和客观的最佳符合，人们的认识也就接近最优化的目标。

第八章　信息与管理

要实现现代化，必须使管理现代化。现代化管理的一个重要特点是，管理过程控制论化。控制和信息是不可分的，任何信息的传递和处理都是为了控制；任何控制都要凭借信息。管理就是控制，管理活动实际是过程控制和信息管理的两位一体。因此，信息既是现代社会的主要资源，又是现代管理的基础。

一、信息管理是现代管理的基础

随着科学技术的进步，社会经济的发展，信息作为重要资源，必须加以有效管理。信息管理是指对信息所进行的一系列管理活动。信息管理不仅是现代管理活动的重要内容，也是决定管理效能最关键的因素。信息管理的好坏，对管理目标的实现，乃至一个企业、一个部门、一个单位的生存和发展，具有越来越重要的意义。信息管理深刻地反映了信息在管理中的地位和作用。

（一）信息是现代管理的重要资源

在人类管理史上一个很长的时期，由于管理规模的狭小、管理手段的落后、管理目标的单一、管理活动的节奏较慢，因而信息处理过程比较简单。如洗衣店的老板，只需要

注意天气、水、肥皂、洗衣工等反映的信息，就可以随时作出决策，指挥生产。在这种情况下，管理者往往把主要的注意力放在对人、财、物等资源的直接利用上，很少考虑信息在管理中的作用，也就谈不上通过信息管理来履行管理职能，实现管理目标。现代管理则不然，由于生产社会化的程度越来越高，管理的规模越来越大，管理过程越来越复杂，信息不仅是现代管理的重要资源，而且是管理活动赖以进行的凭借。

现代化的管理组织，是一个复杂的大系统。在整个系统的管理活动中存在着两种"流动"：一种是人力、物力、财力等的物质流动；一种是随之产生的大量的数据、资料、指标、图纸、报表等信息的流动。前一种流动是管理活动的主体流程，后一种流动则是前一种流动的表现或描述。这两种流动的交互作用，就构成实际的管理活动。为使管理活动取得最优效果，就必须对人流、物流、财流加以科学的计划、组织和调节，使它们按着一定的规律运动。人流、物流、财流合乎目的运动的前提，是信息流的畅通，信息流调节着人流、物流、财流的数量、质量、方向和速度。信息流的任何阻塞都会造成人流、物流、财流的紊乱和中断，管理活动就要停顿或遭到破坏，管理目标就难以实现。信息既是管理组织的中枢神经，又是现代管理的重要资源。现代管理中首要的是对信息进行有效地管理。

（二）信息在管理中的作用

信息不仅是现代管理的一种资源，而且在管理活动中起着十分重要的作用。

首先，信息是计划的基础。计划是管理的首要职能，是

各项具体活动的依据。广义的计划包括目标决策以及实现目标的措施和方案。能否制定出科学合理的计划，直接关系到整个管理活动的成败。计划的制定，必须以真实、准确的信息做基础。因此，掌握信息和了解情况是对管理者的起码要求。只有充分掌握可靠的信息，对情况了如指掌，才能驾驭形势，运筹自如，适应环境的变化，不失时机地作出成功的决策，从而为本系统规划出正确、合理、有远见的目标，并制定出实现目标的切实可行的实施方案。计划的正确程度、管理效益的高低，在很大程度上取决于信息工作的水平和质量。

其次，信息是组织和控制管理过程的依据和手段。计划确定之后，就要通过组织实施，使之变为管理系统有序的合乎目的的行动。在实施过程中，组织、指挥、协调和控制等管理职能的履行，也一刻离不开信息。整个管理工作在一定意义上说，是一种以信息处理为中心的工作，管理过程就是信息的获取、处理、传输和使用的过程。在这个过程中，管理机构实际上是一种"信息调节器"，通过信息这个特殊的工具和手段，履行管理职能，控制整个管理系统做合乎目的的运动，从而实现预期的管理目标。

再次，信息是各管理层次和各工作环节互相沟通的神经和纽带。每个管理系统都有自己的层次结构，任何一项工作的开展，都有自己的环境和过程。为了使各层次、各环节的活动协调于整体之中，就必须通过信息的上传下达，互相沟通来实现，否则管理就失去活力。一个管理系统，如果没有一个四通八达、灵敏、准确的信息系统，获取信息和沟通效能就会受到限制，管理也就无法进行。

总之，在瞬息万变的现代社会中，信息在现代管理中的作用越来越引人注目，难怪日本企业界认为："人才是企业

的支柱，信息是企业的生命”，“信息是决定日本国上下沉浮的关键”。一个成功的管理者，必须树立自觉的信息意识，善于对信息进行有效管理，使之成为管理的重要资源和得心应手的工具，从而科学地、创造性地做好管理工作。

二、现代管理必须建立完备的管理信息系统

一定的管理方法和管理手段是一定社会生产力发展水平的产物。在现代管理中，由于各部门分工越来越细，制约和影响事物发展的相关因素越来越多，使得管理决策对信息的需求不仅在数量上大幅度的增加，而且在质量方面也提出了更高的要求。因此，现代管理必须要建立完备的管理信息系统。

（一）管理信息系统的构成

任何一个管理系统，一般都是由三个要素构成的，它们是：管理对象、管理机构和联系两者之间及其内部关系的信息系统。这三个要素之间的有机联系，被人们形象地比喻为管理系统的实体、大脑和神经中枢，其中每一条信息流可看作为神经脉络。由此可见，在任何管理的条件下，信息系统都是管理系统的一个重要组成部分。

管理信息系统是服务于管理的信息处理系统。它是管理系统为了控制自身最佳运转，达到满意的目标而建立的信息收集、处理、传输和反馈的综合系统。其特点在于系统的输入是管理信息，输出也是管理所需要的信息。按其处理信息

的手段不同，管理信息系统可分为手工系统、机械处理系统、电子计算机化的信息处理系统。不管哪一类管理信息系统，都是管理系统的一个子系统。

管理行为可以抽象为信息行为和决策行为，管理信息系统是作为支持决策系统而存在的。建立完备的管理信息系统是管理系统得以正常运行的必要条件。没有完善的管理信息系统或管理信息系统不能正常的运转，管理系统就无法得到必要的、足够的管理信息，使管理活动难以正常进行。

管理信息系统的基本功能是产生并向有关管理部门提供决策和控制的信息。它的具体任务是根据使用者的需要，对数据进行收集、加工、存储和检索，对信息传输进行筹划，然后将

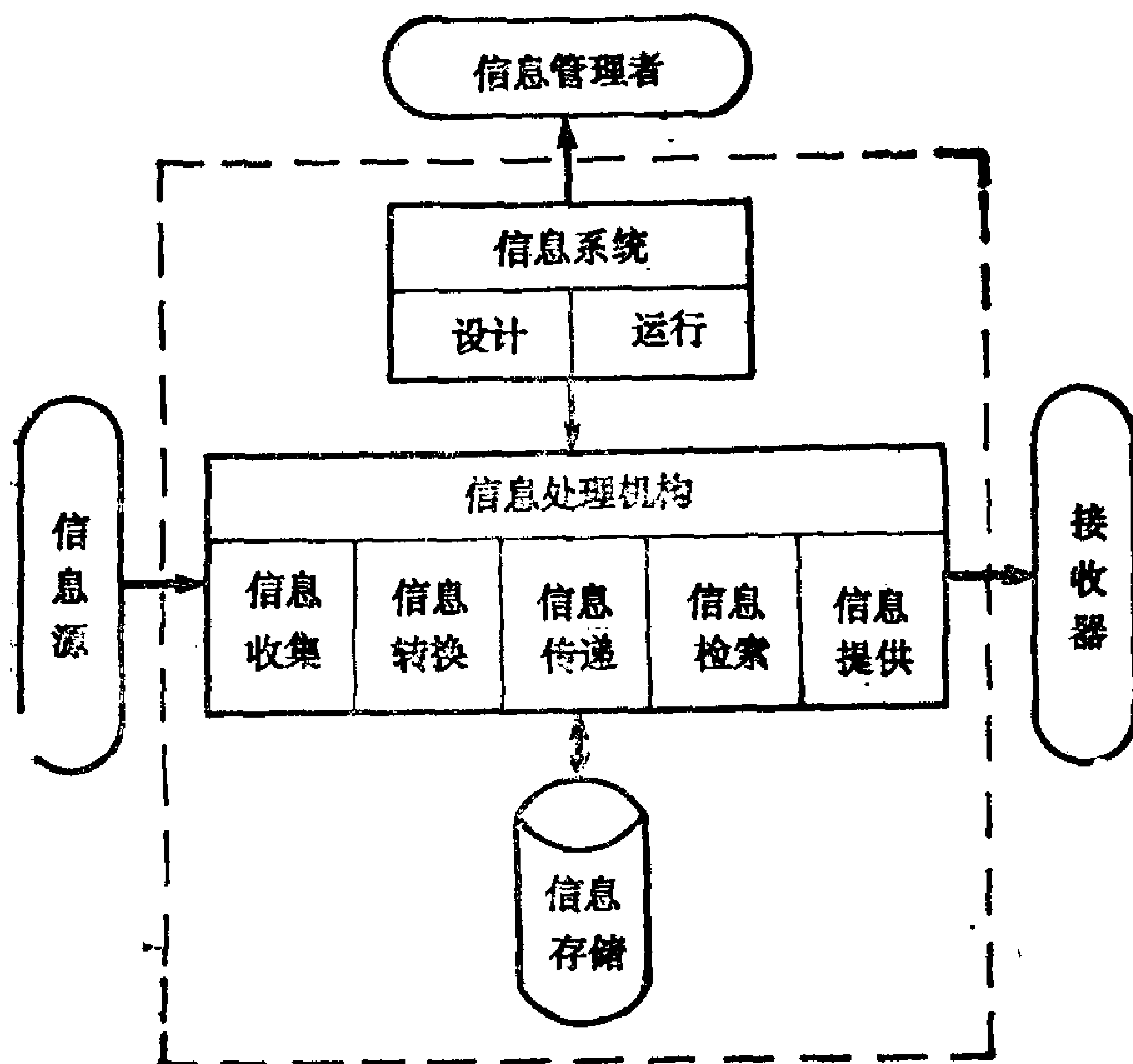


图 8—1　管理信息系统

信息提供给使用者，作为决策的依据。

构成管理信息系统的要素有：信息源、信息接收器、信息管理者和信息处理机构，如图8—1所示。

（二）管理信息系统的基本工作

管理信息系统的核心工作是对信息的处理。广义的信息处理，包括信息的获取、传输、加工、存储、提供等基本环节，这是管理信息系统的基本工作内容。

1.信息获取

信息获取就是对原始信息的收集。信息可以脱离信源而相对独立存在，因而它可以被收集、提取和复制。

一般地说，收集信息应注意以下几点：

（1）收集信息要有明确的目的。收集或获取信息，是为了有目的的使用信息，即收集信息要有主观的脉络，弄清什么是所需要的信息，这些信息是什么形态？什么时候，什么地方可以得到这些信息？以便有针对性地筛选出与工作密切相关的信息。

（2）收集的信息必须真实。既然获得信息是为了使用信息，那么，收集的信息必须能在不同程度上反映客观事物的特点、特性和本质。虚假的信息、道听途说的信息不仅无用，还会造成决策的失误。军事上一条假情报导致整个战斗失利的例子不胜枚举，经济上一条真实有用的信息，可以救活一个企业也不乏其例。

（3）注意收集横向信息和反馈信息。获取信息不仅要注意收集本地区、本部门、本单位的信息，还要注意收集与之相关的其他地区、部门和其他单位的信息。注意收集横向信息，才能扩大视野，开扩思路，在横向比较中找出差距，进

头赶上先进单位。同时，还要注意收集反馈信息，适时地修正原来的决策、方案和指令，以求得主观决策和客观实际的历史的动态的统一。

2.信息传输

信息传输是信息在时间和空间上的转移。信息只有及时准确地送到需要者的手中才能发挥作用。信息传输的有效性主要表现在传递速度和传递质量上。前者是指信息从信源到接收者所用的时间，后者是指如何避免传输过程的干扰而导致失真。

为保证信息畅通无阻、快速准确地传递，要注意以下几点：

（1）要建立具有一定容量的信息通道。信道数量少，容量小，要大量而快速地传输信息，犹如在狭窄的河道上快速通行多艘船只一样的不易。

（2）要明确规定合理的信息流程。不同部门和层次的任务不同，决策的范围不同，所需要的信息也不同。为使不同部门能及时准确地获得与自身业务相关的信息，应尽量减少信息传输环节和层次，必要时要通过调查，给出信息流程图，严格按规定的信息流程传输信息，以免把信息传到不相干的部门。

（3）运用滤波方法，排除信道干扰。长期以来，人们积累了很多抗干扰的方法，在通讯和控制技术中形成了一整套滤波理论。通讯与控制系统中的滤波，是指从获得的信息与干扰中尽可能地滤除干扰，分离出所期望的消息。管理信息系统中常用的滤波方法主要有：重复传递滤波，让信息沿着同一通道重复传递，以排除那些随机发生的干扰。多渠道传递滤波，用完全不同的通道传输同一个信息，并把各种结

果拿来分析比较。阻抗滤波，找到干扰信号和信息信号的本质差别，用一种装置或手段让干扰信号通不过去，而信息信号能顺利通过。反馈滤波，通过接收者对信息的反馈，来抑制信道中可能出现的干扰。

3.信息加工

信息加工包括信息形式的变换和信息内容的处理。信息的形式变换是指在信息传输过程中，通过变换载体，使信息准确地传输给接收者。其中既有对应变换（如电视广播中的光——电——光变换，广播通讯中的声——电——声变换），也有排序变换，使杂乱无章的初始信息经过加工而有序输出。信息的内容处理是指对初始信息进行去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的加工整理，深入揭示信息的内容。经过信息内容的处理，输入的信息才能变成所需要的信息，才能被适时有效地利用，才可以转化为生产力和战斗力。

一般地说，信息加工要注意以下两点：

（1）信息要有信度。要全面分析信源发生的信息是合乎规律产生的，还是偶然产生的；是在特定条件下产生的，还是在一般条件下产生的，以使收集到的信息能够最大限度地反映客观事物的变化规律，具有较高的信度。

（2）加工手段要先进。要运用先进的技术手段和专业方法进行信息加工，在此基础上通过分析、综合、推理以至联想，把握信息真实内容，使认识产生新的飞跃。

4.信息存贮

信息送到使用者手中，有的并非立即使用，有的还需留做事后的参考，这就需要把信息存贮起来。通过信息的存贮和积累，可以从中揭示出规律性的东西，形成人类知识。每项

专业，每个工作人员，都要建立自己的信息库和资料卡，做到消息灵通，资料齐全。在当前信息量激增的条件下，为使用方便，可用计算机大量储存和快速检索所需要的信息。信息的积累和存贮，要有长期的打算，既要看到当前，也要考虑到未来。

在一个管理信息系统中，一般所存贮的信息量是相当大的。为在需要时能及时准确地查出有用的信息，就要制定一套科学的、既迅速又简便的查找方法和手段，以各种适用的形式，将信息提供给有关单位和管理人员。

（三）信息处理的要求

管理者为作出正确的决策，实施有效的控制，必须会对信息提出一定的要求。随着科学技术的进步、社会生产力的发展和生产规模的扩大，管理活动对信息处理的要求也越来越高。概括起来主要包括及时、准确、实用、经济等四个方面。

1.及时性。所谓及时性就是要灵敏、迅速地发现和提供管理活动所需要的信息。这里包括两个方面：一方面，要及时地发现和收集信息。现代社会的信息纷繁复杂，瞬息万变，有些信息稍纵即逝，无法追忆。因此，信息必须最迅速、最灵敏地反映出工作的进程和动态，并适时地记录下已发生的情况和问题。另一方面，要及时传输信息。信息只有传输到需要者手中才能发挥作用，并且具有强烈的时效性。信息的使用价值与其所提供的时间成反比，即信息一经生成，其提供的时间越短，价值就越大，超过了一定的时限，就会造成信息价值的衰减或消失。因此，要以最迅速、最有效的手段将有用信息提供给有关部门和人员，使其成为决策、指挥和控制的依

据。

2.准确性。信息不仅要求及时，而且必须准确。只有准确的信息，才能使决策者作出正确的判断。失真以至错误的信息，不但不能对管理工作起到指导作用，相反还会导致管理的失误。

为保证信息准确，首先要求原始材料可靠。只有可靠的原始材料，才能加工出准确的信息。信息工作者在收集和整理原始材料的时候，必须坚持实事求是，克服主观随意性，对原始材料认真加以核实，使其真正能够反映实际情况。其次是保持信息的统一性。一个管理系统的各个环节，既相互联系，又相互制约，反映这些环节活动的信息有着严密的相关性。所以，系统中许多信息能够在不同的管理活动中共同享用，这就要求系统内的信息应具有统一性或唯一性。因此，在加工整理信息时，要注意信息的统一性，做到计量单位相同，计算方法相同，起止期限相同等，以免在信息使用时造成混乱现象。

3.适用性。所谓适用性是指向各级管理层和领导者提供的信息应是有用的、适合需要的。不同的管理部门所要求的信息，在范围、内容、详细程度和需用频率等方面是各不相同的，因此信息不在于多，而在于适用。各级管理部门必须取得与本部门工作有关的主要资料、数据，才能适时地作出正确的决策，并实施有效的控制。为此，信息工作者一定要认真研究和了解各级管理部门所需信息的类型和内容，对大量的原始资料进行加工、筛选和整理，以使所提供的信息能够反映最本质的问题和最新的情况。

4.经济性。任何管理活动，都要考虑经济效益。信息的及时性、准确性和适用性也必须建立在经济性的基础上。信

息处理是现代管理工作中一项劳动量大，劳动程度复杂而又耗资多的工作，对这项工作一定要考虑如何用较低的费用而获取必要的信息。这要求在信息处理过程中，一方面要保证为管理部门提供快速、优质的信息，使信息在管理工作中发挥最大的作用；另一方面要根据实际情况，确定信息处理的方法和技术手段，不要盲目地追求机械化、自动化，耗费过多的资金。

三、信息在决策中的作用

决策是现代管理十分重要的职能，也是整个管理工作的基本前提。决策正确与否，不仅决定着管理活动的成败和绩效的高低，而且关系到一个单位、一个部门、一个地区的荣辱盛衰，乃至整个国家的前途和未来。如何使决策正确、科学，则成为各级领导者和管理人员最根本的职责。

所谓决策，就是为解决特定的问题和实现确定的目标，对人的行动方案进行设计和选择的活动。从信息论的观点看，决策是获得信息、加工信息、作出决断的过程。

（一）决策是信息反馈控制过程

人类为进行实际的管理活动，必须始终遵循："决策——实施——再决策——再实施"的不断循环过程。因此，决策过程是一个动态过程。这一过程的实质就是信息反馈控制过程。如图8—2所示。

首先必须通过管理信息系统，从各种渠道（调研室、资料室、档案室、数据库、思想库等）收集关于管理对象的一

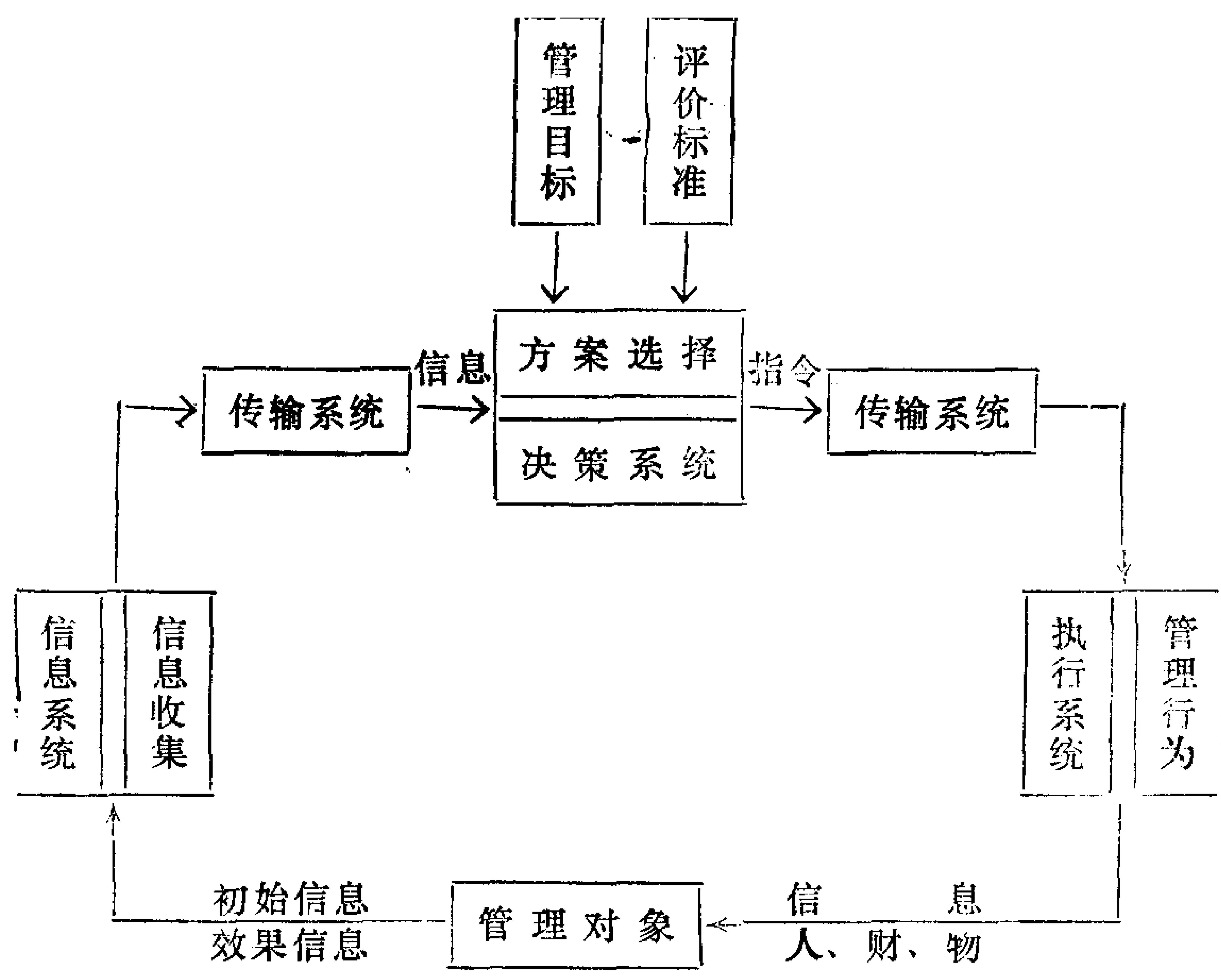


图8—2 决策的信息过程

切信息，经过初步的识别、分析、综合和筛选，经由传输系统传递给决策系统，决策系统对信息再次进行加工处理，提炼出反映事物本质的信息，并对管理对象的状态、趋势和管理效果作出准确的判断。然后与管理目标，即人们所期望的状态进行比较，找出差距，针对差距，提出方案。通过方案论证，选择出先进可行或比较满意的方案，作为决策方案。决策作出后，以指令信息的形式经由传输系统传递给执行系统。执行系统根据指令信息的内容，组织人力、财力、物力对管理对象施加影响，即实施控制。通过控制，改变管理对象的运动状态和存在方式。为取得较好的管理绩效，执行系统通过信息调整人、财、物的相互作用方式，使它们形成有

用的、有规则的运动，达到改造客观事物的目的，这就是实际的管理行为。执行系统对管理对象施加影响的同时，管理信息系统随时观察管理对象的变化，收集效果信息，及时反馈给决策系统，决定是否修改原来的决策。如果需要修正，它再以修正后的指令信息发送给执行系统。这样不断循环、不断修正，直到实现管理目标。

（二）信息是决策的基础

正确的决策取决于多种因素，如决策体制、决策方法、领导者的经验、能力和领导艺术等，但决定性的因素是对客观实际和未来行动及其后果的正确判断。而正确的判断又取决于掌握全面的、及时的、准确的信息，信息不充分，决策就失去了根本的依据，信息闭塞就可能导致决策失误。尤其是在今天这种科学技术飞速发展、日新月异的时代，要实现正确的决策，必须拥有大量的信息。

首先，信息是发现问题、确定目标的凭借。一般地说，每一项决策都是从发现问题开始的，领导者正是通过各种渠道和不同形式的调查研究，来获取信息并从中发现问题。信息是人们认识事物的媒介，通过这个媒介人们才能明确问题、找到差距、确定切合实际的目标。所谓目标，是在一定环境和条件下，人们所期望达到的结果和目的，它反映着未来和现实的差距。作为一个领导者，只有善于掌握和利用信息，才能开扩眼界，丰富头脑，及时了解新的情况，发现新的问题并根据未来和现实的矛盾，选择正确的目标，进行正确地决策。

其次，信息是制订和选择方案的依据。目标确定之后，为了最满意地实现目标，就要制订若干可供选择的方案。那

种一个目标、一个方案而无选择余地的情况，在管理决策中称为“霍布森选择”。所谓霍布森选择，是说1631年英国商人霍布森贩马时，把马匹放出来供顾客选择，但附加了一个条件，就是只许挑选最靠近门口的那匹马。这等于不让人们选择。没有选择，也就无所谓决策。因此，在制订和选择方案时，必须系统地、有目的地收集信息，没有足够的信息，智囊系统拟订方案时就会一筹莫展，领导者决策时，就会面对众多的方案，因无法划分优劣而导致决策失误。

再次，信息是决策实施和控制的手段。决策实施前，需要根据信息，把握决策实施的最佳时机；实施时，需要把决策转换成指令信息传输到执行单位，并通过指令信息控制决策实施的步骤和范围；实施后，需要依据反馈信息，掌握决策实施中的具体情况，检查决策的实际效果是否理想。在决策实施的一系列环节中，离开信息是无法进行的。

（三）驾驭信息的能力是领导者决策水平的标志

领导者的工作，大到长远的、战略性问题的决策，小到日常事物的处理，都涉及到领导者的拍板决断能力，即决策水平。领导者要提高自身的决策水平，要在千头万绪之中找出问题的关键，权衡利弊，作出切实可行的决断，除需不断提高自身的素养和善于利用“外脑”等因素外，关键取决于获取和运用信息的能力。这是因为领导者待决策的问题，大都是对不确定性问题的决断，正确的决断不能从主观想象出发，而应从客观实际出发，只有对反映客观实际的信息及时地了解和掌握，才能作出切合实际的正确决断。有些领导者在实际决策中，之所以拍板拍错了、拍偏了、拍慢了，究其原因，主要是不掌握信息或掌握信息不全面，只凭主观臆想或

以失真的信息为依据作决策。思想保守、反应迟钝，决断的大好时机悄然流逝而不知，渠道不畅、反馈速度慢，获得的信息已是"昨日黄花"，这些不能及时利用信息的行为，必然导致决策的失误。

从领导者决策的全过程看，决策过程是一个信息输入、综合分析、加工处理和输出新信息的过程。当决策作为指令信息输出后，还要及时掌握反映实际状态的反馈信息，以纠正和调整决策行为，减少决策的失误。可见，现代领导者要提高决策水平，就一定要重视信息的作用，不断提高自身驾驭信息的能力。

系统论与现代管理

第九章　系统论的形成与发展

系统论的主要创立者是美籍奥地利生物学家贝塔朗菲（L·V·Bertalanffy）。他于1945年发表了《关于一般系统论》的论文，宣告了这门新学科的诞生。经过几十年的发展和完善，系统论已经蜚声世界，并在现代科学技术群中独树一帜。系统论不仅在技术科学、自然科学和社会科学等领域结出了累累硕果，而且给人类带来了新的思想观念，并引起了思维方式的巨大变化。

一、系统论的形成

贝塔朗菲在回顾系统论形成的历史过程时曾经指出：系统论的产生并不是“时髦一时的产物，而应当把它看作是人类思想史交织发展的一种现象”。① 纵观整个人类思想文明的发展史，经历了一个否定之否定的辨证发展过程。自然科学从古代浑然一体的自然哲学，发展到分门别类的实验科学，直到今天既高度分化又高度综合的现代科学；与之相适应，人类的思维方式也从古代朴素的整体观，发展到近代机

①贝塔朗菲：《一般系统论的历史和现状》，《国外社会科学》，1978年第2期。

械的分析，乃至现代辨证的综合。系统论、控制论、信息论，正是这一发展趋势的必然产物，它们是继相对论和量子力学之后，又一次"彻底地改变了世界科学图景和当代科学家的思维方式。"①再一次生动地证明了马克思主义经典作家的预言："辩证法对今天的自然科学来说是最重要的思维方式"，②"自然科学现在已发展到如此程度，以致它再不能逃避辨证的综合了"。③

（一）系统论的形成是对朴素系统思想的复归

在唯物辩证法的孕育下，植根于现代科学基础上的系统论，其思想渊源可以追溯到古代。在古人直观朴素的整体观中，包含了丰富的系统思想。正是从这种意义上说，我们可以把现代系统论看作是对朴素系统思想的历史复归，是在高级阶段上的再现和重复。

在古代，无论是我国还是希腊，已经有了系统思想的萌芽。尽管那时的系统思想还寓于朴素的唯物论和辩证法之中，但它已集中表现了古人对整体、组织、等级、结构和秩序等概念的认识。

在我国古代哲学中，"五行说"把金、木、水、火、土看成世界万事万物的本源，大千世界，芸芸众生，无不是这五种要素有机结合的整体；"阴阳说"把阴与阳的对立统一，用来表达自然界是个相互制约、相互联系的动态系统；"八卦说"用太极——两仪（阴阳）——四象（春夏秋冬）——八卦（天、地、风、雷、水、火、山、泽）的思辨方

---

①《哲学译丛》，1979年第1期，第49页。
②《马克思恩格斯选集》第3卷，第466页。
③同上，第54页。

式，构造了有等级、有秩序、能演化的先验宇宙系统。总之，我国古代哲学家把天、地、自然、宇宙万物、人体本身，作为一个系统整体来认识，从而形成朴素整体的自然观。

我国古人把朴素的系统思想，自发地运用于实践活动，并取得了世人惊叹的辉煌成就。独具特点的中医理论典籍《内经》，运用阴阳五行学说，把自然界和人体看成是由五种要素相生相克、相互制约而组成的有秩序、有组织的整体。人与天地自然也是相应、相生而形成的更大的系统。“人以天地之气生、四时之法成”。人体作为自然界这个大系统中的小系统，其运动变化无时不受着大系统的影响和制约。人体内部的各组成部分，也是相互联系、相互制约而构成五藏一体的人体系统。《内经》和其他古代医学中的藏象学说，病理学说，阴阳五行学说，气血、津液、经络等学说，以及在此基础上建立起来的辨证施治等，都生动地体现了系统思想。在军事上，著名的军事典籍《孙子兵法》，把战争作为一个系统，对其各个层次、各个方面以及连结方式，作了切实、细致的分析。书中认为对于战争，应把政治、天时、地利、将帅和法制（即：道、天、地、将、法）五个方面作为决定战争胜败的基本因素，并以此为依据，对敌我双方的优劣、态势，作出全面的估计和比较，以分析和探索战争的胜负。在工程上，战国时期李冰父子修造的都江堰，把分水、溢洪排沙、引水三大主体工程与120个附属渠堰工程，构成一个协调运转的工程系统。此外，在农业、天文、气象等方面，系统思想都得到了不同程度的体现。

我国古代以五行说为主体的朴素整体观，强调统一性、协合性、整体性，当之无愧地称得上是世界最早的系统理论。正

如对系统论的发展作出重大贡献的普列高津(I·Prigogine)指出的："在一定意义上说，我们已从对封闭宇宙——其中现在完全决定未来——的认识，走向对开放宇宙——其中有涨落、有历史的发展——的认识。这将是西方科学和中国文化对整体性、协合性理解的很好结合，这将导致新的自然哲学和自然观。"① 现代科学的发展，"都更符合中国的哲学思想。"② 在西方，普遍把我国古代朴素的系统整体思想，称之为自然主义。普列高津写道："我们正向着新的综合前进，向着新的自然主义前进。这个新的自然主义将把西方的传统带着其对实验的强调和定量的表述，与以自发的自组织世界的观点为中心的中国传统结合起来。"③ 由中国的自然主义向现代新的自然主义的发展，就是由古代的系统思想向现代系统理论的发展。

在古希腊，人们也很早就认识了事物的整体性、秩序性以及结构与功能的关系。公元前六世纪的古希腊毕达哥拉斯学派，把"数"看成万物的本源。认为"一"是万物的"始元"、"神圣之母"；"二"是"否定性原则"；"三"则具有综合性质，使自然构成万物。这个学派把万物归于"一"的整体，并力图用数量关系和几何图形来表达事物的规律和秩序。列宁说这种思想中包含着"对物质结构的暗示"。古代原子论的创始人德谟克利特，在他的《世界大系统》一书中，最早提出了"系统"这个概念，并认为世界是由原子和虚空组成的有秩序的大系统。被称为现代系统思想先驱之一

①普列高津：《从存在到演化》，《自然杂志》第3卷，1980年第1期。
②同上。
③转引自《普列高津与耗散结构理论》，陕西科学技术出版社，第221页。

的亚里士多德，曾明确指出："一般说来，所有的方式显示全体并不是部分的总和"。他以房屋为例，说明一所房屋并不等于它的砖瓦、木料等部分的总和，然后强调说："由此看来，很清楚，你可以有了各部分，而还没有整体，所以各部分在一起和整体并不是一回事"。在这里，他已十分清楚地表述了"整体大于它的各部分的总和"的思想。这种思想虽被形而上学哲学家视为"鬼话"，而一般系统论的创始人贝塔朗菲则认为，亚里士多德的"世界观及其固有的整体论和目的论观点就是这种宇宙秩序的一种表达方式。亚里士多德的论点'整体大于它的各部分的总和'是基本的系统问题的一种表述，至今仍然正确。"①

人类认识的发展及科学技术的进步，不可能离开人类文明的历史大道。在这个意义上可以说，现代系统论和系统科学，是在继承古代朴素系统思想和实践的基础上产生和发展起来的。

（二）系统论的形成是对机械论生物学的否定

人类对客观世界的认识，最初总是习惯于从事物总体方面去观察。这种观察，"虽然正确地把握了现象总画面的一般性质，却不足以说明构成这幅画面的各个细节；而我们要是不知道这些细节，就看不清总画面。为了认识这些细节，我们不得不把它们从自然的或历史的联系中抽出来，从它们的特性、它们特殊的原因和结果等等方面来逐个加以研究。"②这样，就要把自然界分解为各个部分，把自然界的各种过程和事物分成一定的门类，对有机体的内部按其多种

① 《科学学译文集》，科学出版社1980年版，第305—306页。

② 《马克思恩格斯选集》第3卷，第60页。

多样的解剖形态进行研究，从而迫使人们不得不用分析的方法代替综合的方法，侧重于分析事物的各个部分，尔后把对各个部分的认识加起来作为对事物整体的认识。这种研究方法虽然为近代自然科学获得巨大进展提供了基本条件，但同时也就把研究对象看作了孤立、静止、不变和僵死的东西，为机械论世界观的形成提供了条件。

我们知道，牛顿力学的辉煌成就，促进了机械唯物论世界观的形成。机械论把物质无限多样的运动形态，包括机械的、物理的、化学的、生命的乃至思维的运动形式，统统归结为简单的机械运动，用纯粹机械力学的法则去解释一切。机械论者把物质生命看作是机械运动的表现，把人等同于机器。17世纪的法国哲学家笛卡儿，在他的《物理学》中认为人体和动物只不过是一架机器，其中热是运动的基质，肌肉是运动的机关，神经是感觉机关，而躯体的职能都只因这架机器的机关安排而起作用。正象一只表或其他自动机的运动必然因摆锤和机轮而产生一样。这种机械论观点，被18世纪另一位哲学家拉·美特利所发展。他写了一本书，名称就叫《人是机器》，他在书中断言："人体是一架会自己发动自己的机器"，"一架永动机的活生生的模型"，并把人的行为归结为机械的"齿轮和发条"的作用，认为只要一个个地制造出这些齿轮和发条，就可以组装出一个人来。机械论在生物学的研究中，表现为简化论或机械决定论。它们把生物有机体分解成若干要素，并用这些要素的机械相加来说明有机体的性质，试图以一因一果的机械决定论来解释复杂的生命现象。机械论者运用分析方法，将生物机体解剖得越来越细，近几十年来已解剖到分子层次、把生命问题简化为物理问题和化学问题，用纯粹物理原因和化学原因来说明一切生命现

象和心理过程。

与机械论的生命观相对立的是活力论的生命观。活力论者认为，在生命有机体内存在着一种有目的的超物质的“活力”，它支配着整个生命过程。他们断言有机界和无机界之间隔着不可逾越的鸿沟，因为有机界是由一种支配着生物体内全部物理化学过程的有一定目的、超物质（超自然）的力量所产生的。

机械论的生命观虽然正确地指出了为弄清生命本质，就必须研究生命现象赖以发生的机械、物理、化学过程，但它那种孤立、片面、静止的观点，不能说明生命有机体的统一性、秩序性、组织性和自我调节性等。活力论的生命观虽然正确地指出了生命现象不能归结为机械、物理、化学过程，但在解释生命现象的复杂性时，除了从外部加进一种超自然的活力外，什么问题也没有解决。活力论并没有克服机械论观点的局限，只不过是在机械论的基础上加上了一个神秘的活力而已。所以机械论和活力论都不能正确地解释生命的本质，都没有揭示研究生命问题的正确方向。

贝塔朗菲早在20年代就对生物学的研究方法和理论感到不满。他认为那种孤立的因果系列和分离开来的机械论模式，不足以解决生物学中的理论问题。1924——1928年，在他发表的几篇文章中，明确提出“机体论”概念。主张用机体论代替机械论和活力论，强调把生命有机体当作一个整体或系统来考察。1932年，他发表了《理论生物学》，1934年又发表了《现代发展理论》，提出“机体系统”的概念，认为生命的秘密就在于整体性、系统性和组织性，并主张用数学和模型的方法研究生物学。1937年，在芝加哥大学的一次讨论会上，他第一次使用了“一般系统论”的概念，并阐述了系统的

整体观点、动态观点和等级观点。但是，由于某些其他原因，他的论文没有公开发表，直到1945年他的重要论文《关于一般系统论》才公开发表。由于战争的原因，当时并未引起人们的注意，直到1947年和1948年他在美国再次讲授"一般系统论"时，才引起人们的重视，1947年他发表了《生命问题》一文，比较全面地论述了机体生物学的体系和一般系统论的思想，描述了系统思想在认识史上的发展。他认为，生物学的主要目标就在于发现机体系统不同层次上的组织原理，生命问题的本质是组织问题。根据生物新陈代谢和发育方面的实验工作，以及为了使有机论的纲要具体化，他提出了开放系统的理论。生命有机体恰好是一种开放系统。贝塔朗菲指出："正是这些有关秩序、组织、整体性、目的论等等重要的问题，都被特意地排除于机械论的科学之外。这就是'一般系统论'的观念。"①

理论界一般认为，在1945年到1947年这段时间，贝塔朗菲完成了从机体系统论到一般系统论的转变，因而把这一段时间看作是系统论正式形成或产生的时期，而把1945年《关于一般系统论》的发表，作为系统论形成的标志。

二、系统论的发展

一般系统论自1945年问世以来，或因战争的原因，或因传统思维习惯的束缚，一直受到冷落。直到60年代和70年代才得到人们的普遍关注，并在自然科学、社会科学和思维科

①贝塔朗菲：《一般系统论导论》，《自然科学哲学问题》丛刊，1979年第2期。

学中取得了举世瞩目的成就。

50年代，贝塔朗菲为了使人们了解一般系统论的主张，1954年他在美国创办了"一般系统论学会"，后来改为"一般系统论研究会"，出版了《行为科学》和《一般系统》年鉴，广泛宣传一般系统论的基本知识。人们一般把50年代，看作是系统论的宣传时期。

60年代以后，一般系统论的思想和方法已经产生了较大的影响，这与系统工程、运筹学、大系统理论等学科的发展密切相关。人们为了解决与人类生存相关的问题，把系统工程、运筹学、大系统理论等学科广泛地应用于生态环境、人口问题、社会经济、组织管理等方面。对环境、社会、经济、军事、政治等大系统科学化、定量化和综合化的研究，迫使人们不得不改变对事物分析的角度和方式。人们科学观察的目光由"实物中心"转向"系统中心"；越来越多地看到了不同学科之间、不同科学认识对象之间存在的共同规律；越来越注重把研究对象作为系统整体，进行定性、定量和综合考察。科学技术的发展，研究问题方式的变化，为系统思想和方法向其他科学领域的渗透，为系统论的广泛应用和发展，提供了有利的条件。1968年，贝塔朗菲发表了《一般系统论——基础·发展·应用》一书，全面地总结了他自己40年来研究一般系统论的成果，为广泛而深入地发展系统科学，提供了指导意义的理论纲领，被公认为一般系统论的经典性著作。1972年，又发表了《一般系统论的历史和现状》，试图重新考察一般系统论的定义，认为一般系统论可以作为类似"进化论"那样的一个新的科学范例，包括极为广泛的研究领域。

70年代以后，在欧美、日本、苏联等国家出现了研究一

般系统论的热潮，并相继出现了大量的论著，涉及到很多不同的分支学科，应用的领域日益扩大，形成了一股重要的科学思潮。这种科学思潮发挥着重大作用并产生着深远影响。

1969年，比利时的物理学家普列高津，在一次“理论物理与生物学”的国际会议上，提出了“耗散结构理论”，《结构、耗散和生命》是这一理论的主要代表作。他在对热力学第二定律研究的基础上，严格地从物理学和数学方面论证了耗散结构的存在，并阐明了远离平衡态的系统从无序向有序发展的基本条件，是保持系统的开放性。这一理论发展了贝塔朗菲的开放系统和系统的整体性、复杂性、有序性等观点，被称为70年代科学的“辉煌成就之一”，并获得1977年诺贝尔奖。

1972年，法国的数学家雷内·托姆（R·Thom）出版了《结构稳定性和形态发生学》一书，提出了“突变理论”。突变论运用拓扑学、奇点理论和结构稳定性等数学工具，研究了自然界各种形态、结构和社会经济活动的非连续性的突然变化现象。其主要特点是用精确的数学模型来描述质量互变过程，考察某一过程从一种稳定状态到另一种稳定状态的变迁。突变论被称为“用精确数学工具描述生物学、社会科学等等复杂现象的一次突破”，“是牛顿和莱布尼茨发明微分300年以来数学上最大的革命”，雷内·托姆因此而获得当前国际数学界的最高奖——菲尔兹奖章。突变论通过耗散结构等理论与系统论联系起来，对系统论的发展起了推动的作用。

1976年，西德物理学家赫尔曼·哈肯（Hermann Haken），在激光理论研究的基础上，发表了《协同学导论》，

提出了“协同学理论”。协同学研究的是由大量子系统组成的系统在一定条件下，由于子系统间相互作用和协合，便会形成有一定功能的自组织结构，达到新的有序状态。协同学和耗散结构一样，也是研究系统从无序到有序转变的共同规律的自组织理论。

1978年，苏联哲学家A·И·乌约莫夫发表了《系统方式和一般系统论》，提出了“参量型系统理论”。他认为贝塔朗菲运用类比同构方法建立起来的一般系统论，不能确定一般系统特征的一切规律，因而在实际应用时受到限制。运用参量型系统论，可以在电子计算机参与下把系统参量联系起来，确定系统的全部规律。

除了上述系统理论之外，还有西德生物物理学家艾肯（M·Eigen）提出的非平衡态自组织现象的超循环理论；美国科学家费根巴姆（Feigenbanm）提出的在非线性系统中，有序可能变为无序、变成混沌的理论；以及我国学者吴学谋创立的泛系统理论，廖山涛的微分动力体系理论等等。这些理论都对系统特性和规律进行了总结和概括，因而可以被看作是系统论的分支理论。

从60年代特别是70年代以来，不同领域的科学家各自独立地从自己的角度研究系统理论，形成了许多关于系统论的分支理论，并取得了突破性进展。这些研究不仅是定性的，而且是定量的；所涉及的领域不仅有技术科学，而且与理论生物学、理论物理学等理论科学，以及哲学社会科学发生了密切联系。虽然研究领域不同，角度不同，但都殊途同归地深入到系统的特征和规律。这充分表明，一门具有划时代意义的统一的系统科学正在形成。

三、系统论的基本内容

机体系统论和一般系统论是贝塔朗菲在科学上的两大发现。机体系统论的创立使生物学由经验科学发展成理论科学，由定性研究阶段进到定量研究阶段。在此基础上他建立了一般系统论，并为一般系统论的发展、完善和推广而奋斗了一生。

从机体系统论到一般系统论，使他把研究对象从特定的生物领域的机体系统，扩展到一般系统，从而形成一门研究一切系统的模式、原理和规律的新科学。贝塔朗菲在回顾系统论的历史时指出："存在着适用于一般系统或子系统的模式、原理和规律，而不论其具体种类、组成部分的性质……如何。我们提出一门称为一般系统论的新科学，这是逻辑和数学的领域，它的任务乃是确定适用于各种系统的一般原则。"① 贝塔朗菲一生对系统论的研究和贡献，主要在以下三个方面：

（一）机体系统理论

机体系统理论又称机体论生物学。认为一切生物有机体都是由各个部分相互联结而构成的有机整体——系统。生物体是在时空上有限的具有复杂结构的一种自然整体，具有特定的系统属性和遵循不能简化的规律。从作为一个有机整体的生物体中分割出来的部分，跟它在生物体中的机能和所发

①贝塔朗菲：《一般系统论的历史和现状》，《国外社会科学》，1978年第2期。

挥的作用是截然不同的。离开了人体的手只是名义上的手。生物体的各个部分一旦离开了整体，就失去了原来的意义。因此，把孤立的各组成部分的活动性质和方式机械地相加，不能说明整体水平的活动性质和方式。正如贝塔朗菲所指出的，解释复杂现象不仅要通过它们的组成部分，而且要估计到它们之间联系的总和。这就要求人们不能象以前那样，先把对象分解成几部分而后再综合，而是把对象作为有机整体来考察，从整体与部分、部分与部分之间的特定关系中，揭示系统的特性和运动规律。

生物有机体不仅具有自然整体性，而且一切有机体都是按照严格的等级组织起来的系统，这就是系统的层次性或等级性。系统层次分明、等级森严，犹如一座大厦，其中各层次逐级依次组织起来，成为越来越高级和越来越庞大复杂的系统。如同物质可分为分子、原子、原子核等多种层次；社会可分为国家、群体、个体、器官、细胞、生物大分子等多种层次一样。系统的层次性，反映了组织等级的差别性。处于不同层次的系统，具有不同的结构，亦有不同的功能。系统就是结构和功能的统一体，系统的层次性正是结构等级和功能等级相统一的表现。"因此生物学的主要任务应当是发现在生物系统中（在组织的一切等级上）起作用的规律"。①贝塔朗菲的这一思想，是一般系统论的萌芽，后来发展成为整个一般系统论的纲领。

（二）开放系统理论

贝塔朗菲认为，一切有机体之所以有组织地处于活动状

①贝塔朗菲：《一般系统论的历史和现状》，《国外社会科学》，1978年第2期。

态并保持其活的生命运动，是由于系统与环境处于相互作用之中，系统与环境不断地进行物质、能量和信息的交换，这就是所谓的开放系统。生命系统本质上是一种开放系统。正是由于生命系统的开放性，才使这种系统能够在环境中保持自身的有序的、有组织的稳定状态。使生命系统不仅能抗拒环境对机体的破坏，保持自身结构的稳定，而且能有目的地生长和演化。因此，生命的本质不仅要从生物体各组成部分的相互作用来说明，而且要从生物体和环境的相互作用来说明。

根据热力学第二定律，在封闭系统中物理化学过程是朝着熵增大即几率增加、有序变小的方向进行的。也就是说，在封闭系统中，系统的总熵不断增加而达到最大值。与此不同，在开放系统中，系统可以从外界环境不断引入负熵流，即吃进物质、信息和能量，以抵消系统内部的增熵过程。当负熵大于系统总熵时，系统可以从无序重新走向有序，使有机体处于高度有序的状态，甚至可以向不断提高分化和组织程度的方向发展。生物系统的这种情况，正如奥地利物理学家薛定谔在《生命是什么?》一书中指出的，"有机体就是赖负熵而产生的"，生命体维持生命机能"唯一的办法就是从环境里不断地吸取负熵。"① 因此，开放系统可以保持自身的稳定结构和有秩序状态，或增加其既有秩序，这正是系统目的性的表现。把系统的开放性、有序性、结构稳定性和目的性联系起来，这正是贝塔朗菲一般系统论的核心和重要成果。他还用一组联立微分方程对开放系统进行数学描述，从数学上证明了开放系统的稳态，并不以初始条件为转移，指出了开放系统可以显示出异因同果律。

①转引自黄麟雏、邹珊刚、李继宗：《系统思想与方法》，陕西人民出版社，1984年版，第207页。

在贝塔朗菲那里，开放系统理论不仅是一般系统论的重要渊源之一，而且是一般系统论的一个重要组成部分。贝塔朗菲所研究的“开放系统”，不仅揭开了整个系统研究的序幕，而且成为系统科学的一个最基本的范畴。如果说经典力学、经典数学和动力理论只研究系统的状态，那么“开放系统”理论则与系统状态、输入和输出联系在一起。其中，状态与系统的结构有关，输入与系统的控制有关，输出与系统的行为有关。贝塔朗菲的开放系统理论（在普列高津的耗散结构和哈肯的协同学等理论中获得了巨大发展），使科学从对系统状态的研究，发展到对系统状态、输入与输出关系的研究，这是一个革命性的转变，是系统科学的真正开端。

（三）动态系统理论

贝塔朗菲认为，生物体结构是一种动态结构，它与静态结构（如机器结构、晶体结构）有着本质的区别。静态结构是由不变的组成部分构成的，而动态结构则以它的组成物质的不断变化为自己存在的条件。代谢作用是每一机体的基本特征，而由于代谢，机体的组成部分每时每刻都在发生变化。生物中每一层次的存在总是以下一层次的生长、衰老和死亡为前提的。动态结构有自我调节性，而静态结构只能被动的更换。因此，生物体不是一个被动系统，而是一个能动系统。生物体具有刺激反应性，但它的主要特征在于能动性，例如心跳、呼吸等生理机能，不是对外界刺激的反应，而是维持生存的内在要求的实现。

从本质上说，现实的具体系统都是动态系统，因此可以把动态系统看作系统的一般模式，而把静态系统看作是它的特殊形式。对于动态系统有两种基本的描述方法，即内部描

述和外部描述。前者是"结构"描述，后者则是"功能"描述。贝塔朗菲在《关于一般系统论》一文中，深入研究了动态系统的基本结构，并在用一组联立微分方程定义一个动态系统的基础上，通过设定各种约束条件，从数学上描述了系统的各种性质，如整体性、相关性、动态性、有序性、目的性等。

现在看来，贝塔朗菲关于动态系统理论的数学描述过于简单。但是，从一组联立微分方程推出系统的各种一般特性，这本身就具有十分重要的认识论意义。一个对象，只要它是一个系统，它就具有一般的系统特性；不同的对象，尽管其中直接起作用的要素千差万别，但它们的规律在形式上、结构上是可以完全一致的。一般系统论的建立，可以使在一个领域发现的规律，正确地从这个领域过渡到另外一些领域。

贝塔朗菲在深入研究一般系统的基本性质，为一般系统论建立理论框架的基础上，力求把一般系统论的基本原理，应用于物理学、生物学、精神病学和社会科学等领域，试图以一般系统论为基础实现科学的统一。

一般系统论经过几十年的发展，其内容已远远超过了原有的范围。因此，我们现在说的一般系统论，是广义系统论。贝塔朗菲在1968年发表的《一般系统论——基础·发展·应用》的前言中，明确指出："随着系统思维与研究的不断扩大，一般系统论的定义也在不断发展之中"，"所以'一般系统论'的名称在这里按广义使用"。①在这本书中，他把广义系统论研究的领域划分为以下三个方面：

---

①贝塔朗菲：《一般系统论—基础·发展·应用》，社会科学文献出版社，1987年版，第8页。

第一个方面是“关于‘系统’的科学”。即探索各种具体科学（例如物理、生物、心理学、社会科学）中的“系统”的理论和科学，而一般系统论作为原理可用于所有系统（或其中一定的小类）。也就是说这一方面主要研究宇宙中的大量现实系统，找出各个“系统”的一般方面、一致性和同态性；特别是研究系统的“整体”和“完整性”等概念、模式和原则，以便为科学的统一提供一种可能的途径。

第二个方面是“系统技术”。既包括系统技术的“纯粹”科学，如控制论、信息论、对策论、决策论、线路理论与排队论等；也包括应用学科，如动态系统理论、工程控制论，以及计算机模拟等。

第三个方面是“系统哲学”。由于将“系统”作为一个新的科学范例引进以后，与古典科学的分析、机械、单向因果关系的范例不同，思想和世界观要重新定向。所以，贝塔朗菲认为：“一般系统论有它的‘超科学’或哲学性的方面”。①系统哲学又包括“系统本体论”，“系统认识论”与“人和世界的关系或哲学用语所说的‘价值’”② 三部分内容。

贝塔朗菲关于广义一般系统论研究领域的划分，直到晚年发表的《一般系统论的历史和现状》一文，一直坚持这种看法，并郑重申明这三个方面是“目的不同但内容不可分割”。③ 这实际上是为系统科学的体系提出了富有探索性和启发性的构想，是他对系统科学重要贡献的一个方面。

关于系统科学的体系问题，国内外学者的看法不尽相

---

①贝塔朗菲：《一般系统论—基础·发展·应用》，社会科学文献出版社，1987年版，第8页。

②同上。

③同上。

同。这种矛盾正是推动系统科学的研究和统一的前提与动力。我国学者钱学森认为，系统科学是与自然科学、社会科学等相并行的一个学科门类或学科群。它包含三个层次：系统的工程技术层次——各门系统工程、自动化技术和通讯技术；系统的技术科学层次——控制论、信息论、运筹学；系统的基础科学层次——系统学。在系统基础科学与马克思主义哲学之间还存在着一个桥梁，即系统观或系统论。如图9—1所示。

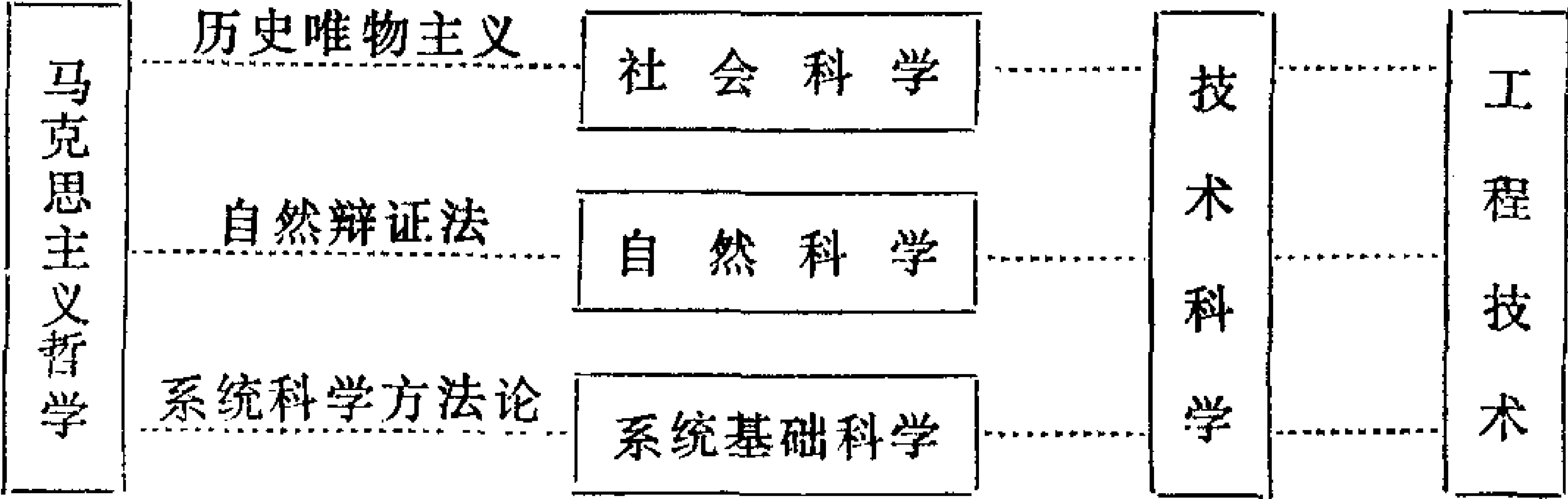


图9—1　系统方法与哲学、具体科学的关系

钱学森的系统科学体系，把系统论、控制论、信息论以及各种自组织理论都统一起来，摒弃了流行的所谓“老三论”、“新三论”的各种说法，把系统科学看成哲学、系统观、系统学、系统的技术科学和工程技术的统一整体，为人们深入研究系统科学提供了一个清晰的蓝图。

第十章　系统论的基本概念

一、系统与要素

任何事物都是系统与要素的对立统一体。系统与要素的对立统一，是客观事物的本质属性和存在方式。因此，系统和要素是一对更能深刻反映事物内部和事物之间的关系，具有更为广泛和普遍意义的概念。

（一）系统

系统论的创立者贝塔朗菲把系统确定为："处于一定的相互关系中并与环境发生联系的各组成部分（要素）的总体（集合）"。①我国著名学者钱学森给系统下的定义是："系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体"。②钱学森认为，恩格斯在谈到自然科学研究方法和思维方法的转变时，就给系统概念以明确的含义了。他引用恩格斯的话说："一个伟大的基本思想，即认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体"。③

①贝塔朗菲：《一般系统论的历史和现状》，见《科学学译文集》，科学出版社，1981年版，第315页。
②钱学森：《论系统工程》，湖南科学技术出版社，1982年第1版，第10页。
③《马克思恩格斯选集》第4卷，人民出版社，1972年版，第239—241页。

这里的“集合体”就是系统，“过程”就是系统中各个组成部分的相互作用和整体的发展变化。

从系统的定义可以看出，一个具体的系统，必须具备三个条件：一是系统必须由两个以上的要素（元素、部分或环节）所组成；二是要素和要素、要素与整体、整体与环境之间，存在着相互作用和相互联系；三是系统整体具有确定的功能。这三个条件缺一不可，否则就不能构成一个具体的系统。

现代科学表明，物质世界普遍具有系统形式或属性。整个自然界，从微观粒子到宏观天体，从无机界到有机界，从原生生物到人类个体，都是由特定的要素组成的，是具有一定层次和结构并与环境发生关系的整体即系统。比如一个人，作为生命个体，其体内有若干个系统。就消化系统来说，就是由口腔、食道、肝、胆、肠、胃等器官（要素）组合而成的，具有特定结构和消化、吸收功能的系统。人作为社会组织的成员，又是每个社会系统如工厂、学校、部队以至家庭的要素。各个成员之间相互联系、相互作用，形成特定的结构，构成一定的社会系统。如果把范围扩大，整个社会就是生产力和生产关系、经济基础和上层建筑等部分按一定层次、结构组成的系统。整个太阳系也是一个系统，太阳、九大行星、数以万计的小行星以及行星的卫星、慧星等，都是组成这个大系统的要素。各个要素都处于相互联系和相互作用之中，形成了整个太阳系复杂的结构，使之成为一个秩序井然、按一定规律运动着的大系统。

可见，物质世界是普遍以系统形式存在着和发展着的。

被列宁称为“党的最宝贵的和最大的理论家”① 的布哈林指出：“任何事物——不管是石头还是生物，是人类社会还是别的什么东西，我们都可以把它看作是由互相联系着的各个部分（要素）组成的某种整体；换句话说，我们可以把这个整体看作是一种系统。”② 客观事物既自成系统又互为系统。人类就生活在系统之中，既要靠各种自然系统和社会系统维持生存，又不断地造就了形形色色的新系统。

（二）要素

要素始终是和系统不可分割地对应着的。要素是构成系统的必要因素，即组成系统的各个部分或成分，是系统最基本的单位，因而也是系统存在的基础和实际载体。系统离开了要素就不成其为系统。

一般地说，系统的性质是由要素决定的，有什么样的要素，就有什么样的系统。所谓“物以类聚，人以群分”就是这个道理。要素在构成系统并决定系统时，要形成一定的结构。毫无结构的要素的堆积，并不是系统，也形成不了系统。在这种情况下，要素也就不成其为要素了。

要素在系统中的情况一般可区分为三种：一是不同数量和不同性质的要素，可构成不同的系统。如天体、地球、各种宏观物体、分子、原子等系统。二是相同数量和相同性质的要素，仅由于结构方式的不同，也可构成不同的系统。如甲醚和乙醇。三是相同性质的要素，仅由于数量的不同，也可构成不同的系统。如氧气和臭氧。

在一个稳定的系统中，一方面要素之间相互独立，彼此

---

①《列宁全集》第36卷，人民出版社，1959年版，第617页。

②布哈林：《历史唯物主义理论》，人民出版社，1983年版，第78页。

外在，有着差别性；另一方面要素之间又按一定比例相互作用，通过一定结构与系统整体发生联系。在不同的系统中，同一个要素其性质、地位和作用是不同的。例如同一个人，作为系统要素，在工作单位和家庭这两个不同的系统中，其性质、地位和发挥的作用就有所不同。在一个可以分为若干子系统的系统中，要素具有两重性。除了具有系统要素自身的地位和性质外，还同时具有子系统的地位和属性。例如一个家庭，作为社会大系统的一个要素，它是社会的细胞，要承担和履行社会赋予的义务和责任；作为它自身，又具有生儿育女和教育子女的家庭功能。

（三）系统与要素的关系

系统和要素是对立统一的关系，它们相互依存、互为条件。在事物的运动和变化中，系统和要素总是相互伴随而产生，相互作用而变化。

1．系统通过整体作用支配和控制要素。当系统处于平衡稳定的条件时，系统通过其整体作用来控制和决定各个要素在系统中的地位、排列顺序、作用的性质和范围的大小，统领着各个要素的特性和功能，协调着各个要素之间数量比例关系等等。在系统整体中，任何一个要素都离不开这种控制作用。每个要素以及要素之间的相互关系都由系统所决定。整体稳定，要素亦稳定；系统整体的特性和功能发生变化，要素以及要素之间的关系也随之变化。如一个管理组织的整体功能，决定和支配着作为要素的各子系统的地位、作用和它们之间的关系。管理组织的整体效益好，就要求各子系统必须充分发挥各自的功能，并使各子系统之间的关系协调发展。

2. 要素通过相互作用决定系统的特性和功能。要素作为系统存在和发展的基础，是通过要素之间相互联系形成的结构而决定着系统整体。一般地说，要素对系统的作用有两种可能趋势。一是如果要素的成分和数量比例是一种协调、和谐、适应的关系，就能够维持系统的动态平衡和稳定，促使系统向组织化、有序化的方向发展。二是如果要素和数量比例发生变化，使要素之间出现不协调、不和谐、不适应的关系，就会破坏系统的平衡和稳定，甚至使系统趋于崩溃和死亡。

3. 系统和要素在一定条件下相互转化。由于事物范围的无限广大和发展的无限性，系统和要素的区分是相对的。由要素组成的系统，又是较高一级系统的组成部分，它在这个更大系统中又是一个要素。组成系统的要素，它本身也是一个系统。如果把较高一级的系统叫母系统，那么就可把组成母系统的要素叫子系统，又把组成子系统的要素叫次子系统。例如在部队的组织系列中，一个团是以几个营为要素组成的系统，而这个团又是更大系统的师的一个组成要素。组成团的营级要素，又是由几个连级要素组成的系统。正是由于系统和要素地位与性质关系的相互转化，才构成了物质世界一级套一级、一层套一层的等级性或层次性。

系统和要素之间的对立统一关系是通过它们之间的相互作用实现的。在系统的实际发展过程中，相互作用的形式是极为繁杂的，其中有的作用可以用线性方程加以定量描述，这种系统一般较简单，称为线性系统；有的作用则需要用非线性方程才能定量描述，这种系统一般较复杂，称为非线性系统。由于系统要素的非线性作用，决定着系统的特性和演化规律，因而在各种系统基础理论中，都强调系统中的非线

性作用。

二、结构与功能

结构和功能是一切系统不可分割的两个方面。它们深刻地揭示了系统内部状态和外部状态的相互关系，因而是人们认识系统及其规律的重要环节。

（一）结构

所谓结构，是指系统内部各组成要素之间的相互联系、相互作用的方式或秩序，也就是各要素之间在时间或空间上排列和组合的具体形式。贝塔朗菲把结构称之为系统的“部分的秩序”。①

结构是系统的普遍属性。没有无结构的系统，也没有离开系统的结构。无论是宏观世界还是微观世界，一切物质系统都无一例外的以一定结构形式存在着、运动着和变化着。正如保加利亚学者K·瓦西列夫所指出的那样：“客观现实的一切事物和一切实在过程都有自己的结构，一切事物和过程在其整体的各部分、各方面之间，在其关键性的运动要素之间，如果没有一定的相对固定和确定的关系，就不可能在任何地方、任何时候存在。”②系统的结构就是组成要素之间相对固定和比较稳定的有机联系。这种联系（结构）是系

①贝塔朗菲：《一般系统论导论》，《自然科学哲学问题丛刊》，1979年第3期。

②K·瓦西列夫：《结构是时髦的哲学问题》，《哲学译丛》，1965年第10期，第27页。

统保持整体性和具有一定功能的内在根据，是从系统内部对系统整体性的描述。

物质系统的结构可以分为空间结构和时间结构。所谓空间结构，是指物质系统内部各要素之间由于相互作用，在空间上形成的一种同时态的稳定结构。这种结构表现为各要素之间能够在数量上保持一定的比例关系，在性质上相互协调与适应。如宏观物体结构、分子结构、原子结构等。这种结构一经形成，就使这一物质系统与另一物质系统区分开来。所谓时间结构，是指一种历时态的变动结构，即系统结构的变动性和流动性。时间结构说明物质世界没有绝对不变的结构，任何结构都有自己产生、演化和发展的历史。耗散结构理论认为，要确定一种稳定有序的结构是否属于耗散结构，就必须考察其变化的历史。耗散结构就是时间结构的一例。再有系统运动过程出现的某些振荡周期，生命系统中存在的生物钟等，也是一种时间结构。

任何物质系统的结构，都是空间结构和时间结构的统一，是稳定性结构和可变性结构的统一。科学研究的任务，在于不断揭示系统的结构方式，并通过系统结构认识系统的存在方式、功能特性和运动规律。

（二）功能

系统是功能和结构的统一体，功能和结构不可分割。结构是认识系统功能的基础，分析功能必须联系系统的结构。

我们把系统诸要素相互联系和作用的内在组织形式或内部秩序称为系统结构，与此相对应，我们把系统与环境相互联系和作用的外在活动形式或外部秩序，则称为系统的功能。所谓功能，是指系统与外部环境相互联系和作用过程的秩序

和能力。系统功能体现了一个系统与外部环境之间的物质、能量和信息的输入与输出的变换关系。如图10—1所示。

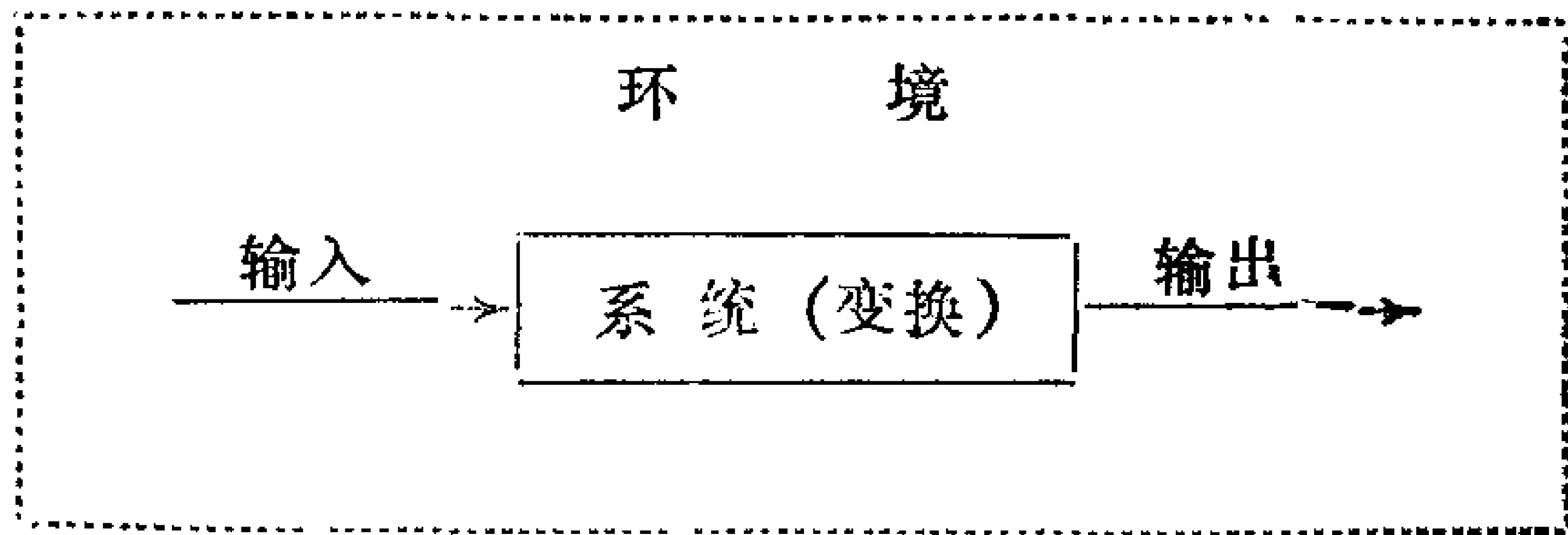


图10—1　环境和系统的相互作用

在这里，环境对系统的作用表现为系统的输入，系统在特定环境下对输入进行工作，就产生出反作用于环境的输出。系统把输入转换为输出的能力，就是系统的功能。输入和输出共同表现了系统与环境的相互作用，因此，只有把输入和输出联系起来，通过两者的变换关系，才能说明系统的功能。

例如，一个生产系统，在投入给系统一定的物质、能量和信息（输入）之后，经过生产过程的变换，生产出数量多、品种全、质量上乘的产品（输出），我们就可以说这个系统的功能好。一台收音机或电视机，如果接收信息（输入）和处理信息（变换）准确有序，因而输出的声音或图象清晰稳定，那么我们就可以说这台收音机或电视机的功能好。显然，系统功能是一个过程，所描述的是在系统与环境相互作用的输入与输出过程中，系统整体对外部环境施加影响和作用的能力。所以，系统功能可以理解为系统整体与外部环境进行物质、能量、信息交换的秩序、功效与能力。

总之，系统结构所说明的是系统的内部状态和内部作用，

功能所说明的是系统的外部状态和外部作用。按照系统论创始人贝塔朗菲的解释，结构是“部分的秩序”，“内部描述本质上是‘结构’描述”；功能是“过程的秩序”，“外部描述是‘功能’描述。”① 功能是系统与环境相互作用表现出来的外部规定性，或者说是系统内部固有能力的外部表现，它归根到底是由系统的内部结构决定的。系统功能的发挥，既有受环境变化制约的一面，又有受系统内部结构制约和决定的一面，这正体现了功能对于结构的相对独立性和绝对依赖性的两重关系。

（三）结构与功能的关系

结构与功能的关系，在实际客体系统中存在着多种情况。主要表现为以下几种。

1. 由不同要素组成的不同结构的系统，具有不同的功能。在纷繁复杂的物质世界，无限多样的物质系统，皆因不同的要素组成不同的结构而相互区别。这是因为组成系统结构的要素是决定一个系统功能状况的最基本的条件。组成系统结构的要素一旦发生变化，就会影响到系统整体结构组成方式的变化，从而给系统的整体功能带来影响。例如，我们为深化体制改革，按四个现代化发展的要求调整干部队伍，既要把优秀的中青年干部选进领导班子，狠抓广大干部的培训，同时又要通过适当方式，调整掉不称职人员或多余人员。这些措施都是为了提高干部队伍这一系统结构的要素的素质，进而改善干部队伍这一系统的结构，从而为系统整体

①贝塔朗菲：《一般系统论的历史和现状》，《科学学译文集》，科学出版社1981年版，第319页。

功能的提高打下坚实的基础。改革后出现的可喜变化，充分说明系统结构要素的改变，对系统功能的改善有着重大的影响。

2. 由相同要素组成的不同结构的系统，也具有不同的功能。决定系统功能的条件除了要素外，系统中各要素的不同排列组合，同样会改变系统的功能。这方面最典型的例子，是由同一种元素碳组成的炭黑、石墨和金钢石。这三种材料由于碳原子之间的结合方式不同，组成了形态各异、功能悬殊的三种碳素系统。炭黑的碳原子无规则排布，组合成疏松的无定形粉末状，其硬度为零；石墨的碳原子排布稍有规则，组合成六方或三方鳞状晶体，但原子片层之间距离很大，所以结合力微弱，其硬度为1；而金钢石的碳原子排布规则均匀，组合成无色透明的八面状晶体，所以结合牢固，其硬度为10。因此，提高系统的功能，不仅要提高单个要素的功能，而要在一定要素的基础上，致力于改善系统结构。这样做往往能收到事半功倍的效果。

3. 组成系统的要素和结构不同，可以具有相同的功能。同一功能，可用不同要素结构来实现，或者说以不同要素结构的系统实现同一功能，这在日常生活中不乏其例。以计时来说，从古代的日晷到现代的机械表、石英电子表，其要素结构不同，但同样具有计时功能。夏天降温，用电风扇、空调设备等不同结构的降温系统，能得到同样的降温功能。在社会实践中，人们总是要用设计简单、方便、低廉的结构系统代替复杂的、难以取得的或代价高昂的结构系统，以求实现和获得同样的或更好的功能。这种不追求系统基质和结构是否一致，而把研究重点放在获得同样的功能上的做法，正是功能模拟的基础。为什么电脑可以代替人脑的思维，使这两类截然不同的系统具有同样的记忆、判断、推理和运算的功能，其根

据就在于同一功能完全可以用不同要素结构的系统来实现。

4．同一结构的系统，可以具有多种功能。任何一个系统都不能离开环境，同一结构的系统由于在不同环境中对外界发生的作用不同，其功能的发挥也是多种多样的。同是一种药物，对于不同的人具有不同的功能。人参是一种生津、宁神、益智的大补品，对于久病而体质虚弱的人，具有促使其康复的医疗功能，而对于正在发高烧的患者，服之反而会加重病情。同是一个人，在不同的环境中发挥着不同的功能。一个领导者，在单位发挥着管理者的功能，下车间又是普通的工人，回到家里则具有家庭成员的功能。一所学校，也是一个多功能的系统，既要教书，又要育人，培养学生德、智、体全面发展都应是学校的任务。

总之，由于客观世界的复杂性和无限性，系统的结构和功能的关系是多样的、变化是无穷的，在一定条件下是可以转化的。在大系统内部的结构关系，在子系统之间则属于功能关系。因此，在实际工作中，必须注重研究系统结构和功能的动态变化规律。

三、环境与行为

（一）环境

所谓环境，是指系统存在的外部条件，也就是系统以外对该系统有影响、有作用的诸因素的集合。在一个大系统中，对于某一个特定的子系统来说，其他的子系统可以看成是它的环境。环境实际上是同某一特定的系统相关的其他系统

（或事物）的统称。

例如，一种机器设备作为一个系统，它的各个部件是系统的组成要素，而它所处的空间位置、自然条件、操作人员等，对机器系统的状态、特性和功能都有影响，我们把这些因素都可称为这个系统的环境。事实上，任何一个系统都处在一定的环境中，系统与环境之间是相互联系和相互作用的。

在现实世界中，客观事物是普遍联系的，因而系统与环境的区分是相对的。要正确地区分哪些事物是系统的要素，哪些事物是环境的要素，只能根据与我们所研究的具体系统相联系的紧密程度，对系统功能影响的大小来划分。一般地是把那些联系不太紧密、影响较小的因素作为环境因素而排斥在系统之外，而把那些联系紧密、影响较大的因素作为系统的要素。例如，把一个企业及其活动作为经济系统，在一般意义上，系统主要包括人力、资金、厂房、原材料和设备等；环境主要包括用户、竞争者或协作者、政府法令、市场信誉和技术发展水平等。在解决具体问题时，这些要素究竟是划归系统还是划归环境，划归的比例有多大？这要根据所解决的问题以及与该问题相关联的程度来确定。以技术发展水平来说，当考虑到投入产出率时，应划归到系统内部；而在考虑科学技术对经济发展的影响时，则应划归到环境。

系统和环境的相对性，为人们区分系统和环境带来了困难。但是，人们为了研究和认识某一特定的系统，又必须把系统和环境区分开来。为此，人们根据认识的目的，用假设线对系统和环境进行界定，这个假设线就是系统的边界。系统边界是事物质的规定性在人们头脑中的反映，是用以区分系统与环境两个本质不同的系统所包含的要素的界限。正确

地确定系统边界，能够使人们有目的地研究和认识系统，便于在系统和环境的相互作用中把握系统的状态和运动规律，从而按照人们的愿望改善系统的功能。

（二）行为

所谓行为，是指系统对环境的影响和作用的反应，即在系统与环境的相互作用中，环境对系统施加影响和作用以后，系统对环境的反作用。在控制论中，环境对系统的作用以系统的输入来表示，系统对环境的作用以系统的输出来表示，系统的输出就是对系统行为的描述。

系统行为是由系统环境和系统内部状态两个因素引起的。环境只是产生系统行为的诱因或外部条件；系统内部状态则是系统行为的根据或决定因素。系统行为归根到底决定于系统的内部状态，而系统的内部状态又取决于系统结构的优化程度。可见，系统行为实际上是系统的外部状态，即系统本质规定的外部表现。因此，在一定环境下，可以通过改变系统的内部状态，来调节或改变系统的行为；也可以通过系统行为的研究，来考察一个系统的内部状态，即系统要素及其结构方式。

需要注意的是，系统行为和系统功能是两个相近但又不完全相同的概念。系统的功能虽然也是在系统与环境的相互作用中表现出来的，但它只是着重描述系统与环境的相互作用中，系统对外部环境施加影响和作用的能力；系统行为则不然，它着重描述系统与环境的相互作用中，系统自身的外部活动状态以及状态变化过程。因而不能把系统行为和系统功能混为一谈。

四、整体稳定性与局部变异性

(一) 整体稳定性

所谓整体稳定性，是指系统在外部环境的干扰作用下，系统整体总是趋向保持某一稳定状态的特性。处在一定环境下的系统，在环境的变化或偶然因素的作用下，仍能保持或恢复自身的某一状态，使系统某一状态持续出现，这就是系统整体稳定性。系统的整体稳定性，是系统自我保持和对环境适应性的体现。

系统整体稳定性取决于系统中各要素稳定联系所形成的结构。系统结构又存在着平衡结构和非平衡结构。与此相应，系统的整体稳定可区分为静态稳定和动态稳定两种情况。

系统的静态稳定是由系统的平衡结构决定的。具有平衡结构的系统，各组成要素之间的有机联系和排列方式是相对不变的。例如，一台机器，一座建筑物，其各要素之间有机联系形成的结构，反映的是各部件之间按一定规则要求连接和装配关系，一旦形成系统，这些关系就很少有变化。这类系统结构属于平衡结构，由此所决定的系统整体稳定性则是静态稳定。

系统的动态稳定是由系统的非平衡结构决定的。具有非平衡结构的系统，各组成要素之间的有机联系和排列方式虽然不能随意变动，但又保持对外界环境的活动性，即保持与外界经常的物质和能量交换。系统的非平衡结构，一方面要

反映各组成要素之间相对稳定的有机联系，以保持系统在所处的环境下能自我存在；另一方面又要反映外界环境对这种有机联系的影响，以保持系统在所处的环境下能正常发挥其功能。例如，生物体就属于这类非平衡结构。生物体与外界环境不断进行物质、能量以至信息的交换，通过生物体的同化、异化作用，不断进行新陈代谢，才能维持自身的稳定存在和正常发挥其功能。所有非平衡结构系统的稳定性都属于动态稳定。

（二）局部变异性

系统的局部变异性是和整体稳定性相对应的概念。所谓局部变异性，是指系统在外部干扰和内部故障的作用下，局部地改变自身的特性，包括系统组成部分或要素的局部更替、结构的局部改变以及功能的局部丧失等。在系统与环境的相互作用中，由于环境变化而产生的随机干扰是不可避免的。同时，由于系统内部各要素之间持续不断的相互作用，在某些环节和方面出现偶然因素而导致某些故障，也是不可避免的。外部干扰和内部故障是造成系统局部变异的原因。一般地说，局部变异通常并不影响整体的稳定，不少系统都有把局部变异造成的状态恢复过来的能力。但是，如果局部变异不断积累，达到一定的关节点时，系统的整体稳定性将会丧失，旧系统随之瓦解。

系统整体稳定性和局部变异性是同时存在、同时起作用的。从辩证法的观点看，系统的整体稳定性是相对的，局部变异性是绝对的。稳定只能是变异中的稳定，变异常常是稳定中的变异。当人们谈论一个系统的整体稳定性时，已包含着对局部变异性的理解，也就是说，局部变异性寓于整体稳

定性之中。但是，整体稳定性和局部变异性毕竟是代表了两种对立的倾向，一种要维护系统的稳定，另一种则要触发失稳。在整体稳定性未被打破之前，局部变异性不起主导作用，系统处于稳态；局部变异性积累扩大而开始起主导作用时，系统失稳并开始处于或长或短的过渡状态。过渡状态的结局是旧系统的灭亡和新系统的产生，亦即建立新的系统整体稳定性。

认识和掌握系统的整体稳定性、局部变异性及其相互关系，有助于人们在实际工作中注重系统的状态变化。为实现一定的系统目标，要创造使系统保持整体稳定的条件，以使系统发展完善，并能充分发挥正常的功能。同时，在系统设计、调节过程中，要建立健全抗干扰机制，以防止不利于系统目标的局部变异。当系统整体稳定不符合人们的实践需要时，要通过系统局部变异的积累，促使系统由量变向质变飞跃，以建立符合人们期望的新的系统。

五、系统的形态与分类

宇宙间的一切事物，都是以各种各样的系统形态存在的。系统的形态与人们所持的划分标准有关。由于角度不同，所持标准不同，系统的分类方法也不同。按一般分类方法，系统有如下形态：

（一）按照系统形成的方式，可以区分为

1. 自然系统。指自然物自发形成的系统，其组成要素是自然界固有的事物，其形成往往与人的意志无关。如天体

系统、气象系统、生态系统、生物系统、分子系统等。

2．人工系统。指用人工方法建立起来的系统，其组成要素是人为生产出来的。如用人工方法制造出来的工具、机械、设备等工程系统；由一定的组织、制度、法律、章程等构成的社会系统和管理系统；人类通过对自然和社会现象的科学认识，所建立起来的科学技术体系等等，都属于人工系统。

3．复合系统。指由自然系统和人工系统结合而成的系统。如农业系统、工业系统、生产系统以及各种工程系统等。实际上大多数系统都是复合系统，这类系统往往是在人们认识了自然系统变化规律的基础上，按着人们的意志加以改造而形成的系统。其构成是自然物和人工物的复合，其存在和发展则是人的意志的物化。

（二）按照系统组成的要素，可以区分为

1．物质系统。指由实体物质所组成的系统。如机械系统、植物系统、动物系统、能源系统等。这类系统的组成要素是实体物质，因而也称实体系统或硬系统。

2．概念系统。指由概念、原理、原则、制度、程序等非物质实体所组织的系统。如科学理论体系、法律系统、程序系统等。概念系统又称虚拟系统或软系统。

在实际生活中，实体系统和概念系统联系紧密。如计算机的硬件部分是实体系统，使其发挥特定功能的软件则是概念系统。概念系统为实体系统提供指导和服务，实体系统则是概念系统的服务对象。

（三）按照系统与环境的关系，可以区分为

1．封闭系统。指系统与环境的联系不密切，很少与环境发生物质、能量和信息交换的系统。如自给自足的小农经济、闭关自守的封建国家，它们很少和外界发生联系，并且不依赖外界影响而具有生存能力，因而可以看作封闭系统。如果与外界环境完全没有联系，则称为孤立系统。

2．开放系统。指与外部环境具有物质、能量和信息交换的系统。如军事系统、经济系统、生命系统等。一个系统如果与环境有输入、或输出、或输入—输出关系，就可称为开放系统。严格地讲，任何系统都是开放系统，只不过系统与环境的联系程度不同而已。

（四）按照系统状态和时间的关系，可以区分为

1．静态系统。指系统的状态参数不随时间变化的系统。如工程建筑系统、机械设备系统等。

2．动态系统。指系统的状态参数随时间变化的系统。如人口系统、经济系统、管理系统等，这类系统的状态是时间的函数。从本质上讲，任何系统都处在绝对运动之中，因而任何系统都是动态系统。

（五）按照系统的规模，可以区分为

1．小系统。指系统的组成要素数量少、结构简单、功能单一的系统。如简单机械、家庭、班组等系统。这类系统不仅包含不需要分割的要素较少，而且要素之间相互作用的关系简单，因而又是简单系统。

2．大系统。指系统的组成要素数量众多、规模庞大、

结构复杂、功能综合的系统。如天体系统、生态系统、国家系统、社会系统等。这类系统不仅要素等级多，而且要素之间相互作用的关系错综复杂，因而又是复杂系统。

总之，系统的分类方法是多样的，分类标准是相对的，系统的形态是无限的。从最一般的意义上说，系统既有共性又有个性，因而可区分为一般系统和具体系统。“一般系统”体现了系统的共性或普遍性，是抽去了现实系统特殊内容的抽象物；“具体系统”体现了系统的个性或特殊性，是指含有实际内容的现实系统。如管理系统、军事系统、教育系统、工程系统等现实系统，除了具有一般系统的属性外，还具有相互区别的特殊性。共性寓于个性之中，具体系统实则是一般系统的表现形式。因此，系统论在研究一般系统时，决不能脱离具体系统。不仅如此，必须从具体系统中去认识和把握一般系统及其规律性。

第十一章　系统论的基本原理

系统论的基本原理，是有关系统的基本属性、共同特征和一般规律的理论概括，是一般系统论的基本观点和原则。这些原理主要反映在系统与要素、要素与要素、结构与功能以及系统与环境、系统与时间等关系上。学习系统论的基本原理，有助于掌握系统论的基本思想和一般方法。

一、系统整体性原理

系统整体性是系统最本质的属性，因而“整体”和“系统”这两个概念经常被同义的使用。在这个意义上，贝塔朗菲指出：“一般系统论是对‘整体’和‘完整性’的科学探索”。①因此，系统整体性原理是系统论中的一个最基本的原理。

何谓系统的整体性？整体性是指系统诸要素集合起来的整体性能。简言之就是系统诸要素相互联系的统一性。要素一旦构成系统，系统作为有机联系的整体，就获得了各个组成要素所没有的新的特性。这种新的特性，是要素、系统整体和外部环境相互作用的结果，因而只有在三者之间的关系中才能认识和把握系统整体性。系统整体性原理的实质，就是揭示一定环境下系统整体与要素之间的关系，是对整体与部

①贝塔朗菲：《一般系统论的历史和现状》，《科学学译文集》，科学出版社，1980年版，第314页。

分关系的深化。

客观世界中整体与部分的关系，可归结为两种情况：第一种情况，整体只是各组成部分的简单相加，正如一堆未经装配的机器零件一样。这类整体性，其组成部分的存在和变化并不影响整体，也不依赖于整体。它着眼于“相加性”，即着眼于“堆”，而不考虑各个组成部分之间的耦合关系和结构形式，因而属于非系统联系的整体性。第二种情况，整体是由各组成部分的有机联系构成的，正如手臂之于躯体一样。这类整体性，着眼于“有机性”，而不是“相加性”。也就是说，它要研究整体的各组成部分相互联系和相互作用的结构形式，以及结构对整体功能的影响，因而属于系统联系的整体性。系统论的整体性原理研究的是后一种情况。

系统的整体性，根源于系统的有机性和系统的组合效应。系统整体性原理的基本内容，可以概括为以下几个方面：

1．要素和系统不可分割。凡系统的组成要素都不是杂乱无章的偶然堆积，而是按照一定的秩序和结构形成的有机整体。系统作为整体，其性质和功能存在于各组成要素的有机联系之中；要素作为系统整体中的部分，只有在整体中方能体现它具有部分的意义。两者的分割或分离，都会导致双方失去原来的意义。例如，氯化钠分子的性质存在于氯和钠以离子态的结合与统一中，一旦分离成独立的部分，不仅氯化钠分子丧失了整体的性质而不复存在，而且作为其组成要素的氯和钠，也由原来的离子态转变成氯分子和钠分子的形态。系统与要素、整体与部分，这种“合则两存”，“分则两亡”的性质，就是系统的有机性。

系统的有机性，集中表现为整体与部分的不可分割的联系。正如辩证法大师黑格尔所说：“假如物质被规定为整

体，那么它便由部分组成。而在部分中，整体将变为非本质的关系并消失，但部分就其自身来说也是如此，它也不是部分而是整体。”“部分只有在没有整体时才是独立的。”①这就是说，部分（要素）组成整体（系统）后，就失去了它们原来的质而具有了部分的意义。整体分解成部分后，各个部分又恢复了独立存在时的质，系统整体的质也就不复存在了。因此，系统整体性的形成，就是系统中组成要素原有特性的丧失，以及各要素的有机联系而产生新质的结果。

2．系统整体的功能不等于各组成部分的功能之和。从量的关系方面看，系统的整体效应表现为整体对于它的组成部分具有“非加和性”。即在数学中1加1等于2，而在系统论中，1加1就不等于2，这是贝塔朗菲著名的“非加和定律”。我国的管理学者周吉，把系统的这种整体功能不等于诸要素功能简单相加的情况，称为“系统的性能、功效不守恒定律。”②用公式可表示为：

$$E=\sum_{i=2}^{n}e_i+p$$

式中 E—系统的整体功能；

e—系统各组成部分（要素）的功能；

p—各要素相互联系而形成的结构功能。

公式表明，任何系统的整体功能E，等于各组成部分（要素）功能之和$\sum_{i=2}^{n}e_i$加上各部分相互联系而形成的结构功

①黑格尔：《逻辑学》下卷，商务印书馆，1976年，第1版，第163页。

②周吉主编《现代管理学基础》，知识出版社，1983年版。

能p。在这里，$p \neq 0$，否则就不是系统联系的整体性。所以，

$$E \neq \sum_{i=2}^{n} e_i。$$

系统的这种非加和性，又可分为两种情况：

一是当$p>0$时，则出现"整体大于部分之和"。形象地说，就是"三个臭皮匠顶上一个诸葛亮"。这种现象称为系统整体功能放大效应。如人眼的视觉功能，经试验证明，由双眼组成的视觉系统，其整体功能比两只单个眼睛的视觉功能之和大6—10倍。在一个领导班子中，如果注重群体结构的合理搭配，使成员之间知识上互补、气质上兼容、年龄上成梯次，那么其整体功能就会放大，就出现1＋1>2的情况。

二是当$p<0$时，则出现"整体小于部分之和"。形象地说，就是"三个和尚没有水吃"。这种现象称为系统整体功能缩小效应。如一个领导班子如果群体结构不合理，副职过多，人浮于事，成员之间不善协调以至内耗丛生，领导成员各自为政，则其整体功能就会缩小，出现1＋1<2的情况。还有经济建设中的本位主义、分散主义和自由化倾向，可造成基本建设摊子大、战线长、重复建设等不良现象，影响以至损害全国经济这个大系统的整体效益。改革中政策或措施不配套，甚至相互矛盾等现象，均属于这种情况。

3．系统整体具有不同于各组成部分的新功能。这是从质的关系方面看，系统的整体效应表现为系统整体的性质或功能，具有构成该整体的各个部分自身所没有的新的性质或功能。也就是说，系统整体的质不同于部分的质。马克思和恩格斯曾以协作、分工和工场手工业，机器和大工业的领域

内不同的系统整体存在着不同效应的事实指出："许多人协作，许多力量溶合为一个总的力量"，"就造成了一种'新的力量'，这种力量和它的一个个力量的总和有本质的差别。"①这里的"新的力量"，就是系统整体效应所呈现的新质，这是单个要素所不具有的。技术系统也是一样，如一台收录机，是按一定线路（结构）把收音机和录音机有机组合起来的系统，它不仅具有收音机所有的收音功能，录音机所有的录放音功能，还具有在收音的同时自动进行内录的功能，这是收音机和录音机各自功能加起来所不具备的。系统整体之所以能产生新质，是因为系统整体的各个组成部分之间，相互联系和相互作用形成一定的结构。只有借助结构，才能产生整体效应；只有通过结构，整体的性质和功能才能显现。

系统整体性原理对管理工作具有重要的指导意义，主要是：

1. 根据管理目标，把管理要素组成为一个有机的系统。管理的目的就在于把管理中诸要素的功能统一起来，从总体上予以放大。在这个意义上说，管理是一门把生产（或工作）中的各种要素或各个部分协调起来，使之达到某种组织目标的学问。例如某市的一个奶牛场，为促进奶牛的繁殖及其产奶量的提高，把饲草、奶牛、肥料等几个基本要素组成一个有机的整体。他们兼顾饲养猪和鸡，让猪粪和鸡粪随水流入农田，在农田扩种饲草。有了充足的饲草，就为增加奶牛头数和提高牛奶产量创造了条件。这个奶牛场的管理方案和措施，实现了农牧结合、全面发展，因而不失为一个具

---

①《马克思恩格斯选集》第3卷，人民出版社，1972年版，第166页。

有整体优化的农牧生态系统。

2．把不断提高要素的功能作为改善系统整体功能的基础。组成系统的要素是决定系统整体功能状况的最基本的条件，改善系统整体功能，一般是从提高组成要素的基本素质入手。例如，一个大型联合企业，作为一个整体，不仅要有强有力的决策机构，而且还要有功能健全的产品设计、研制、生产、质检、供销、行政等部门。任何一个部门或环节功能素质不健全或相对削弱，都会在一定程度上影响这个单位的整体效应。因此，必须按照系统整体目标的要求，不断提高各个部门特别是关键部门或薄弱部门的功能素质，并强调局部服从整体、保证整体，以保持该系统最佳的整体功能。

3．保持系统要素的合理组合。系统整体性原理告诉我们，整体功能不守恒的实质在于结构是否合理。因此，改善和提高系统的整体功能，不仅要注重发挥每个要素的功能，更重要的是调整要素的组织形式，建立合理的结构，从而使系统整体功能优化。我们深化经济体制改革，重要的内容是调整生产关系的组织形式，寻求合理结构，使社会主义生产关系更充满活力。为此，就要不断剔除那些产生“虚功”和“负功”的要素和环节，改革掉那些阻碍生产力发展的方面，从而避免“小于”的结果，达到“大于”的目的。

二、动态相关性原理

任何系统都处在不断地发展变化之中，系统状态是时间的函数，这就是系统的动态性。系统的动态性，取决于系统

的相关性。系统的相关性是指系统的要素之间、要素与系统整体之间、系统与环境之间的有机关联性。它们之间相互制约、相互影响、相互作用，存在着不可分割的有机联系。相关就是联系。系统论的相关性原则与唯物辩证法普遍联系的原则是一致的。正是由于系统内部诸要素之间、要素与系统整体之间、系统与环境之间的相互作用和相互联系，构成了系统发展变化的根据和条件。如同恩格斯所说："我们面对着的整个自然界形成一个体系，即各种物体相互联系的总体，……这些物体是相互联系的，这就是说，它们是相互作用着的，并且正是这种相互作用构成了运动。"①因此，动态相关性原理的实质，是揭示要素、系统和环境三者之间的关系及其对系统状态的影响。

动态相关性原理的基本内容，主要有以下几个方面：

1. 系统内部要素和要素之间的相关性。在系统整体中，各组成要素并不是孤立存在、互不相关的，而是相互联系、相互作用的。要素之间的相互作用，具体表现为相互制约和相互协同。相互制约减少了作用各方的自由度，相互协同使作用各方形成各自没有的东西。在一定条件下，相互作用可以使各方产生非线性的协调同步作用，从而使系统整体产生新的性质和功能。可见，系统的整体性渊源于系统内部诸要素之间的相关作用。如果要素之间的相关作用使系统产生功能放大效应，则称之为积极相关；如果要素之间的相关作用使系统产生功能缩小效应，则称之为消极相关。拿管理工作来说，人、财、物、时间、信息等管理的基本要素，在未经管理之前往往是分散的、杂乱无章的。管理的任务就在

---

①《马克思恩格斯选集》第3卷，第492页。

于按一定的目标要求，把各种分散的、互不相关的要素，组织成有机相关的整体——管理系统。通过各项管理职能的履行和实际的管理活动，有效地控制消极相关，促进积极相关，以增强人与人、人与物、物与物之间的协同效应，从而求得管理系统最佳的整体功能。

2. 要素与系统整体的相关性。由于系统内部诸要素之间相互作用、相互联系形成一定的结构，每一个要素通过结构这个中介，和系统整体发生联系。结构越合理，每个要素在系统中的作用就发挥得越充分，由系统效应而产生的整体功能就越好。同时，正是由于要素是通过结构与系统整体发生联系的，所以整体结构中的一个要素的改变，就会影响与之相关的要素发生变化，进而通过结构导致系统整体的变化。这就是我们通常所说的"牵一发而动全身"的道理。堤坝上的一个缺口，会使整个防护堤坝因此而失去作用，导致洪水泛滥。人体中某一部分组织开始病变，则可能会蔓延全身，导致整个肌体坏死。可见，忽视要素变化是错误的。过去在"左"的指导思想影响下，片面强调以粮为纲，为此而毁林开荒，围湖造田，其结果是水土流失，气候失调，造成生态平衡的严重破坏。不仅粮食产量上不去，而且使林牧收入大大减少。这说明，要素与系统的相关性，也是部分与整体的辩证关系。农业本身不仅是一个有机整体，而且农业系统又是作为整体的生态系统的一个子系统，是处在整体——要素——环境的辩证统一之中。在某种情况下，从局部看来似乎是合理的，但如果它破坏了整体的有机相关性，使整体关系失调，那么从整体上看则是不合理的。因此，必须从整体出发，强调局部服从整体的全局观念。

3. 系统与环境的相关性。系统总是处在一定的环境之

中，系统与环境的相关性存在于二者的对立统一之中。对于系统来说，环境是系统的环境，系统的改变会引起环境的改变（系统创造了自己的环境）；对于环境来说，系统是环境的系统，环境的改变又会引起系统的变化（环境规定着自己的系统）。系统和环境的相关性，要求人们必须把系统视为开放系统，在环境和系统的相互作用中，研究环境和系统功能的关系，条件和系统目标的关系。为了正确地确定系统目标和规定系统功能，一般可以通过对环境因素的调查分析，弄清系统目标的约束条件，由条件推出目标（顺序式）；也可以根据现实的可能性和未来发展的需要，估计系统目标，由目标推出所需要的条件（逆序式）。然后将实现目标所需要的条件和现实条件相比较，看哪些条件具备了，哪些条件不具备。对于不具备的条件，或者创造条件，或者修改目标。目标确定之后，在系统运行过程中也要密切注意环境因素对系统状态的影响，不失时机地进行调节控制，使系统状态符合目标状态的要求。

从上述内容可以看出，动态相关性原理和系统整体性原理是紧密联系的，整体性原理是系统思想的核心，动态相关性原理则是整体性原理的延续和具体化。

动态相关性原理对实际的管理工作具有重要的指导意义，鉴于以往的历史经验和教训，在实际运用这一原理时要注意以下几个问题：

1．任何一个要素在系统中的存在和有效运行，都与其他要素相关。系统中某个要素发生变化，就会引起其他相关要素的相应变化。因此，在实际工作中，当我们要想改变某些不合要求的要素时，必须注意考察与之相关要素的影响，使这些相关要素得以相应的变化。系统中各要素发展变化的

同步性，可以使各要素之间相互匹配，从而增强协同效应以提高系统的整体功能。

2. 系统内部诸要素之间的相关性不是静态的，而是动态的。要素之间的相关作用是随时间变化的，由此决定了系统整体的性质和状态也是不断发展变化的。因此，必须把系统视为动态系统，在动态中认识和把握系统的整体性，在动态中协调部分与部分，部分与整体的关系。管理的过程，实质就是把握管理要素在运动、变化的情况下，有效地进行调节和控制，以实现最佳管理目标的过程。

3. 任何系统的整体功能，都存在于系统与环境的相关性之中。如果说要素之间的相关性形成系统的结构联系，使系统成为具有一定结构的整体，那么系统与环境的相关性，则形成系统的功能联系，使系统具有某种整体功能。系统一定的整体功能，表明系统与环境必须按照一定的规律进行物质、能量和信息的交换，才能保持系统整体的性质，产生一定的整体效应。如果系统与环境的输入和输出关系遭到破坏，系统整体的性质和整体效应就会受到影响以至丧失。因此，一定要在系统和环境的相互联系和相互作用中认识和改善系统。

三、层次等级性原理

我们知道，要素的组织形式就是系统的结构，而结构又可以分成不同的层次、等级。在简单系统中，结构只有一个层次，如分子作为原子的聚合，如果不再往下分，就没有更多的层次。在复杂系统中，存在着不同等级的系统层次关

系。一个系统的组成要素，是由低一级要素组成的子系统，而系统本身又是高一级系统的组成要素。这种系统要素的等级划分，就是系统的层次等级性。

层次等级性原理的基本内容，可以归纳为以下几个方面：

1. 层次等级结构是物质普遍的存在方式。系统的层次等级性，是贝塔朗菲研究机体生物学的重要发现。他认为生物的显著特点是它们的组织程度，即生物中普遍存在着这样一种序列的结构等级秩序：分子、细胞器、细胞、器官和机体。不仅生物机体系统具有层次等级结构，而且宇宙也是一个从基本粒子到原子核，到原子、分子、高分子聚合物，到分子细胞之间的大量结构，到细胞、有机体，直到超个体的组织之外的等级秩序系统。无论结构还是功能都具有等级性。因此，贝塔朗菲指出："等级秩序的一般理论显然将是一般系统论的主要支柱。"①

自然系统的层次等级是十分明显的。现代科学一般把自然系统划分为宇观、宏观和微观三个基本层次。从太阳系到银河系以至河外星系的范围，属于宇观层次，是相对论力学研究的主要领域；在太阳系以内的行星以及一般宏观客体系统的范围，属于宏观层次，是牛顿力学研究的主要领域；在分子以下到原子、原子核、粒子、夸克等领域，则属于微观层次，是量子力学研究的主要领域。

社会系统也具有复杂的层次等级结构。人类社会从简单到复杂至少可以划分为七个层次等级：个人、家庭、集体、阶级、民族、国家、社会。从社会结构系统分，又可分为三个大层次：生产力系统、生产关系系统、上层建筑系统。每

①转引自《管理哲学——系统学》，上海交通大学出版社，1985年版，第86页。

一大层次系统内部，又包含着诸多低一等级的子系统。整个人类社会就是这样一个由亿万人组成的，具有不同层次等级结构的庞大复杂系统。

系统的层次等级性，揭示了自然界和人类社会由简单到复杂，由低级到高级，由无序到有序的自然发展过程。在这个发展过程中，物质的运动是永恒的，系统的层次等级是无穷的。层次等级结构，是一切物质系统具有的普遍形式。因此，人们对事物的认识，只是对事物无穷层次等级系列认识中的一个阶段。

2. 处于不同层次等级的系统，具有不同的结构，亦有不同的功能。系统作为结构和功能的统一体，系统的层次等级性正是结构等级和功能等级相统一的表现。也就是说，系统的层次等级，反映的是处于不同层次的系统组织程度的差别。一般地说，系统的层次越高，组织性越强，即系统的结构越复杂，所具有的性质越全面，功能就越高级。例如人类系统，心理层次比生理层次要高，心理活动就比生理活动要复杂，组织性要强，所以人比动物高级。又如，国家的组织性比家庭的组织性强得多，因而国家在结构、性质和功能等方面，要比家庭复杂得多，全面得多，高级得多。正因为高层次的系统组织性强，有序度高，所以才能支配低层次的系统并决定其性质。

3. 不同层次等级的系统之间相互联系、相互制约，处于辩证的统一之中。在系统的复杂层次等级结构中，高层次的系统虽然支配低层次系统而居主导地位，但低层次的系统也不是完全被动的，它保持着自己的相对独立性，对系统的高层次乃至整个系统起着重要的作用。在阶级社会中，统治阶级虽然支配着被统治阶级，但被统治阶级并不是消极的服

从，他们的要求、斗争抵制着统治阶级的压迫，进而影响着系统的全貌。低层次的系统是高层次的基础，并制约着高层次；高层次的系统是低层次的主导，但又受低层次的制约。在不发达的国家中，农业成为国民经济的基础，但它又属于较低的层次，需要先进的工业技术来改造，所以工业是主导；工业作为主导，属于国民经济的高层次，这个层次又必须建立在农业发展的基础上，并受农业发展的制约。就人的需要层次来说，生理的需要属于低层次的物质需要，但又是基础，不能满足基本的生理需要，人类就难以生存，社会就难以发展；交往、成就等需要属于高层次的精神需要，具有社会性，它使人的生理需要也带有社会意义。如人吃饭不同于动物觅食，是为了更好地工作和创造。认识系统层次等级之间相互制约关系，有助于克服形而上学的思维方式。

系统的层次等级性，属于系统组织理论。学习和掌握系统层次等级性原理，对实际的组织管理工作具有重要的指导意义，主要是：

1. 系统层次等级性原理，可以指导人们合理设置管理层次。管理组织系统划分层次等级的主要原因，是由于管理对象的复杂性与管理者个人能力的有限性之间的矛盾。尽管今天的管理者比以往的管理者在能力和手段上有了普遍提高，但今天的管理对象要比以往复杂得多。管理对象的复杂化，使管理组织系统的规模日益增加。对于规模庞大的管理组织系统，合理划分管理层次，建立等级结构，可以削弱系统规模和对象复杂性之间的联系，缓解管理对象复杂性和管理者能力之间的矛盾。这是因为把一个庞大的管理组织系统划分为不同的层次等级，按照层次等级进行分级管理，可以使处在不同层次的管理者所直接联系的人数（包括上级和下

级）大体相当，从而使他们的管理能力和管理对象相适应。

对于同一个管理组织系统来说，究竟设置几个层次等级，要受管理者所能管辖人数的限制。管理者所管辖的下属人员的数量称为管理跨度。古典管理理论认为管理跨度以不超过7至9人为宜。当然，实际的管辖人数问题，不仅涉及管理工作的性质、管理者和被管理者双方的能力、管理者可自由支配的时间的多少，而且涉及管理的标准化程度以及传递信息的工具和方式等多方面的因素。从一般的意义说，对于规模相同的管理组织，管理跨度越大，层次就越少，反之则层次就越多。过多的层次会降低组织的效率，过宽的跨度，也会加重领导者的负担，使之陷于日常事务，无暇顾及大政方针，由此带来的损失可能更大。在实际管理工作中，人们总是在管理跨度和组织层次之间求得某种适度，以兼顾提高组织效率和提高决策效果的要求。这一点，是我们深化体制改革必须研究的一个重要问题。

2．系统层次等级性原理，可以指导人们科学地分解目标。管理系统的层次等级，是科学分解目标的组织基础。一个管理组织系统，总是要根据自身的基本任务、上级的指令、当前的状况、发展的需要和各种内外条件来确定系统的总体目标。然后按照管理组织系统的层次等级，将总目标分解为不同层次、不同部门的分目标。分目标要保证总目标，总目标指导分目标，从而形成前后衔接、上下贯通的目标体系。这样建立起来的目标体系，在组织上能使目标由上而下层层具体，层层落实；由下而上层层负责，层层保证。在内容上既能明确本级系统的基本任务，又能反映分目标和总目标的关系，便于处理局部和整体的矛盾。在明确每一管理层次、每个部门以至每个人的目标责任的基础上，授予相应的

权力，进而建立起目标责权体系，使整个管理工作走上系统管理的轨道。

3．系统层次等级性原理，可以指导人们按管理层次实施层级管理。管理系统中的每一层级所处的地位不同，因而性质和功能也不同。每一个管理者都有自己相应的管理层次，处于不同层次的管理者各有不同的目标责任和要求。一般地说，同一层次各子系统的横向联系，应由它们之间全权处理，只有在出现不协调或发生矛盾时，才提交上一层次的系统来解决。系统上一层次的任务有两个：一个是根据本系统的目标向下一层次发出指令，并检查监督指令执行的结果；一个是解决下一层次中各子系统之间的不协调或相互之间的矛盾。当每一层次的任务明确以后，各层次的各分系统均须围绕着本层次的中心任务开展工作并通力协作，上一层次一般不宜干预下一层次的工作。这样，领导只做领导的事，各级做各级的事，以形成有序的层级管理。

四、系统有序性原理

系统的有序性是指构成系统的诸要素通过相互作用，在时间和空间上按一定秩序组合和排列，由此而形成一定的结构，决定系统的特定功能。系统的有序性，是表示系统的结构实现系统功能的程度。因此，系统有序性原理的实质，是揭示系统结构和功能的关系。

系统有序性原理的基本内容，可以归纳为以下几个方面：

1．任何系统都有特定的结构，结构合理，系统的有序度高，功能就好。反之，结构不合理，系统的有序度就低，

功能就差。在系统都有结构的意义上说，任何系统都是有序的，只是有序程度不同而已。也就是说，有序和无序是相比较而言的，是相对的。因此，混乱只不过是一种低度有序状态。自然系统的有序性，是系统演化和适应环境的结果；人工系统的有序性，是社会实践和人工选择的结果。在管理活动中，合理安排系统诸要素的秩序，优化要素组合，建立和保持良好的组织结构，使各要素密切而协调地配合，才能形成统一的系统功能，从而提高系统整体效益。

2. 系统由低级结构转变为较高级的结构，即趋向有序；反之，系统由较高级的结构转变为较低级的结构，即趋向无序。如人的学习、记忆过程是有序过程，而不学习、知识老化以至生疏和遗忘，则是无序过程。再如生物的进化和社会的进步是有序过程，而生物的退化和社会的倒退则是无序过程。有序和无序是可以相互转化的。管理问题，说到底是把未经管理之前的无序的、分散的、杂乱无章的管理对象，通过计划、组织等管理活动转化为有序的、具有一定目标和整体功能的管理资源。管理所从事的使管理对象目标化、有序化的过程，本质上是一个负熵的过程，即减少无序和不确定性，降低混乱的程度。因此，任何管理系统都应有明确的目标，目标不明确，必然会导致管理的混乱。

3. 任何系统必须保持开放性，才能使系统产生并且维持有序结构。热力学第二定律表明，对于一个没有热交换的封闭系统，系统的熵趋向增加，无序度增大，最后达到最大值而走向热平衡态，使系统成为“死结构”。任何一个系统（如一个国家、地区或单位），在与外界不发生作用的情况下（即处于封闭状态），必然会出现相对静止和功能衰退现象。相反，对于一个开放的系统，由于系统与环境之间存在

着物质、能量和信息的交换，使系统有机会、有条件引入负熵流，以抵消系统内部的自动增熵。当负熵大于系统内部熵的产生时，就能使系统产生并维持有序结构。可见，保持系统的开放性，是使系统从无序向有序演化的基本前提。

系统有序性原理对管理工作具有重要的指导意义，主要是：

1. 学习系统有序性原理，有助于深入理解对外开放和对内搞活的政策。任何管理系统，都应该是一种具有活力的耗散结构。所谓耗散结构，简单地说，就是只有不断地从外界吸收物质、能量和信息，才能维持有序结构的系统。这类系统的存在和发展，必须具备两个条件：一是对外开放，二是内部要有活力。

对外保持系统的开放性，才有可能从外部环境中吸收负熵流，以抵消内部的增熵，使系统处于非平衡态或远离平衡态，即造成系统向有序发展的外部条件。党的十一届三中全会以来，我们实行对外开放政策，从发达国家吸收资金，引进先进的技术、设备，学习社会化大生产的管理经验等，有力地促进了我国的现代化建设。历史经验反复证明，中国停滞落后的主要原因就是闭关自守。中国的发展离不开世界，关起门来搞建设是不能成功的。

对内要有活力，就是要保持系统内部的非平衡态。这是因为，一个系统如果处于无差异的平衡状态，就意味着系统内部不存在势能差。耗散结构理论告诉我们，无势能差的平衡系统服从势能最小原则，因而必然是一个低功能系统。我们的改革之所以要打破“平均主义”和“大锅饭”，引进竞争机制，目的就是设法增大系统内部的势能差，形成非平衡态。“非平衡是有序之源”。只有这样，才能使系统充满活

力；才能提高系统的有序度，使系统从低功能向高功能演化。

2. 学习系统有序性原理，有助于提高管理的有序度。要提高管理的有序度，必须科学地安排管理诸要素的秩序，使之协调匹配，以减少“内耗”而求得统一的整体功能。为此，主要应使以下三个方面有序：

首先是目标体系有序。一个管理系统的总目标和子系统的分目标，必须构成合理的目标体系，使之具有系统的特性。一般地说，各分目标在时间要求上，即时限上要有一定秩序，称为时间有序；在空间的排列位置上，即地位作用上要有一定秩序，称为空间有序。如果没有时间有序或空间有序，分目标和总目标之间、各分目标之间便不能有机结合，甚至相互冲突，势必会使人、财、物、时间、信息诸因素相互干扰，管理将成为各自为政和各行其事的分散活动，从而影响系统的整体功能和总目标的实现。

其次是目标实施过程有序。目标的实施过程必须以有序的目标体系为基础，每个子系统必须在总目标的统领下实现自己的分目标。各子系统活动之间要相互协调并与总目标的要求相一致，一切不利于总目标的行为都不是系统所需要的行为。这样，各子系统的分目标实现了，系统的总目标也就自然达到了。

再次是组织系统有序。组织系统的有序性，是实现管理目标、建立正常工作秩序的组织保证。如果组织系统处于无序状态，人员、岗位、责任、权力、信息都是混乱的，管理就难以奏效。要保持组织系统的有序性，必须建立健全岗位责任制，处理好人员、岗位、责任、权力等要素与整体目标的关系。在系统内部，要做到人位相应，能位相应，权责相应，才能保证管理活动层次分明，井然有序。

第十二章　系统方法与管理

如果说系统论的基本概念和原理主要是从理论上研究系统，以解决对系统的一般性质和规律的认识问题，那么，系统方法则主要是从应用上研究系统，以解决对具体系统的设计、优化、实施和管理问题。系统方法是系统论的基本概念、原理和原则的实际应用，因此可以说，系统方法是系统论的科学方法论。

一、系统方法

（一）系统方法的含义

所谓系统方法,就是以系统理论为指导,把研究对象放在系统的形式中进行考察的一种科学方法。具体地说，就是按照客观事物本身的系统性，始终从整体（系统）与部分（要素）、部分与部分、整体与环境的相互联系、相互作用、相互制约的关系中，综合地、精确地考察研究对象，以达到最佳地处理所研究的问题。可见，系统方法也可以说是系统地考察和处理研究对象的整体联系的一种方法。

系统方法研究和解决问题的着眼点在于：

1. 它把研究对象看作是多因素、多变量的有机整体（系统），从研究和分析对象的诸要素或诸子系统之间的复

杂关系中，去认识和把握系统整体的性质。

2. 研究各组成要素或子系统的性质、结构与系统整体性质的内在关系，从而认识和评价各要素或子系统对系统整体的作用程度。

3. 依据各要素或子系统对系统整体的作用程度，结合外部环境对系统的作用，选择最佳方案去安排系统的各组成要素或子系统。

例如，美国解决阿拉斯加东北部的普拉德霍湾油田向美国本土运输原油的问题，就是成功地运用系统方法的一例。普拉德霍湾盛产原油和天然气，它地处北极圈内，最低温度可达零下50℃以下，海湾长期冰封，陆地更是常年冰冻。最初提出两个方案，一是从海路用油船运输；二是用带加温装置的油管运输。第一个方案费用大，不安全，供应得不到切实的保证。第二个方案虽然可以利用成熟的管道输油技术，但沿途要附设加温站，最重要的是由于地处极寒冷地带，一旦将油管加温，油管就有可能变形断裂。为解决这个问题，就要用底架把油管支撑起来，这样一来，它的成本费就比普通油管高出三倍。在这种情况下，当事机构便邀请系统科学研究人员研究解决问题的办法。系统科学专家综合了与油田、运输有关的大量因素，运用系统科学的原理和方法及特定的数学工具，定量地研究了所有的因素以及这些因素之间的相互作用和影响。在研究中他们并没有孤立地只局限于研究运油问题，而是联系石油的形成过程加以研究。埋在地下的石油原本是油气合一的，熔点很低，经过漫长年代以后，油和气才逐渐分开。根据这一点，研究人员将天然气转换成甲醇，再加到原油中去，大大降低了原油的熔点，增加了流动性，即使在寒冷地带，原油也不会凝固。可见，研究人员把

石油的形成、取油、运油、取气、运气以及其他大量因素连结成一个系统来考虑，使他们抓住石油形成的历史过程中有一段时间油、气没有分开且熔点很低这一点，就可以用把油气重新合在一起，以降低石油熔点的方法解决问题。这样，人们只要铺设一条普通的油管，就可以既运了油又运了气，大大节省了成本。据统计，单单是铺设油管一项，就节省了64亿美元，产生了巨大的经济效益。

系统方法整体化、综合化、最优化地处理问题，使它在科学研究、国家管理、社会规划等方面发挥着越来越重要的作用。随着科学技术的进步和社会生产力的发展，社会生产的专业化分工越来越细，国民经济各部门的相互关系更加紧密，跨部门、跨领域的问题越来越多，因此整体化、综合化的趋势越来越突出，管理工作越来越复杂。在许多情况下，往往要把整个工农业生产、国防建设、科学研究、交通运输、经济发展、生态和环境保护等作为大系统来认识和管理。这些系统规模之大，参数之多，结构之复杂是前所未有的。要对如此庞大而复杂的系统进行研究和管理，除了运用系统方法外，其他任何传统方法都是无能为力的。系统方法为复杂系统的分析、设计、研制、管理和控制的最优化提供了有效手段。

（二）系统方法的特点

系统方法作为现代科学方法，具有以往传统方法不可比拟的新特点：

1．系统方法实现了分析与综合的辩证统一。传统的思维方法总是先分析对象的各个部分，然后再综合为整体。这种思维方法的局限性在于把分析与综合、部分与整体、原因与

结果机械地割裂开来，认为部分是原因，整体是结果，部分决定整体。这种方法着眼于一个个要素，进而确保整体的性能。其逻辑结论往往是组成整体的要素好，整体的性能也就好。系统方法则不同，它是从整体出发，先进行系统综合，形成可能的系统方案，再进行系统分析。分析系统各要素及其相互关系，建立模型，然后进行系统选择，实现最优化，重新综合成整体。其程序是“综合——分析——综合”。系统方法不仅着眼于个别要素的优劣，而且巧妙地利用了要素之间的相互关系，来提高系统整体的性能。

例如，苏联的米格25飞机逃到日本后，经过检查发现飞机的许多零件并不先进，但由于结构合理而使其整体性能在当时是世界第一流的。这表明要素和整体往往不是一种简单的线性因果关系，系统的整体性能不单是取决于组成系统的要素，而且还有要素之间的相互作用。系统方法正是在要素之间相互作用的关系中进行分析和综合，才正确地认识了事物的整体性能。所以，系统方法乃是立足整体、统筹全局，使整体与部分辩证统一起来的一种新的科学方法。

2. 系统方法既是确定目标的方法又是实现目标的方法。以往的科学方法在认识功能上大致可分为两类，即确定目标的方法和实现目标的方法。其中较多的是实现目标的方法，实现目标的方法，又可再分为接收信息的方法（如观察、实验等方法）和加工信息的方法（如分析和综合、归纳和演绎、科学抽象等方法）；而确定目标的方法则比较薄弱，主要是靠经验判断和逻辑分析。系统方法把确定目标和实现目标的两种认识功能有机地结合起来。系统方法提供的系统分析，在确定目标方面发挥了重要功能。它通过对特定问题的周密调查，在掌握大量数据的基础上，经过精确地计

算，提供各种目标方案，供决策者进行最佳抉择。就是说，系统方法使确定目标得以程序化和精确化。同时，系统方法又可以通过规划、研制、生产、安装、运行等阶段来实现既定的目标。系统方法乃是兼备了确定目标和实现目标两种功能的一种新的科学方法。

3. 系统方法将定性分析与定量分析有机地结合起来。长期以来，人们都是从质和量两个方面分别考察事物，研究问题，因而以往的科学方法，又可以分为定性方法和定量方法。在以往的科学方法中，定性分析和定量分析分别是由不同的科学方法来实现的。系统方法在对系统整体的定性分析的基础上进行定量分析，最后在系统选择中再进一步对系统进行定性分析，从而把定性分析和定量分析有机地结合起来，使这两个方面集于一身。系统方法不仅可以定性地揭示系统的性质和机制，而且可以借助现代数学和计算机技术定量地描述系统的运动状态和规律，为从定性和定量地结合上认识系统提供了有效的方法。例如，在火箭工程中如果离开了系统方法，只是定性地分析影响因素，而对这些因素的控制量只能用实验来试探。那么，就不能准确地掌握影响因素之间的量的规律，因而也就不能实现预期的目标。同时，多次实验对人力、物力和财力的消耗也是惊人的。相反，运用系统方法借助系统模型和系统仿真，能够更精确、更可靠地找到各因素之间的内在联系。这不仅节约了大量的人力、物力和财力，而且能够最优化的实现目标。

（三）系统方法的地位

这是指系统方法在现代方法论体系中的地位。为了弄清这个问题，必须了解现代方法论的体系结构。

随着现代科学的发展和方法论研究的深入，各种科学方法已经形成了一个层次分明的现代方法论体系。各种科学方法按其概括程度和适用范围的不同，分别处于不同的层次上，在相应的范围内发挥着特定的作用。目前，现代方法论体系按照从具体到抽象的方向，可分为以下四个层次：

1. 具体科学方法。即研究各专门科学的一些具体方法和技术。例如，物理学中的光谱分析法，地质学中的岩矿分析法，生物学中的定向培育法等。具体科学方法只适用于各门具体科学的特定领域，概括程度低，适用范围窄，因而又称专门科学方法或特殊科学方法。

2. 一般科学方法。即分别适用于自然科学、社会科学和思维科学各大门类的研究方法。如实验方法是普遍适用于自然科学的各个学科，但不适用于社会科学的一般方法。社会科学虽然有时也运用典型的实验方法，但同自然科学的实验方法有质的不同。又如，调查研究方法是普遍适用于社会科学各个学科的一般方法，但一般说来，它又不适用于自然科学。一般方法比前一层次的具体科学方法具有较大的适用范围和较高的概括程度，具有跨学科性质，在同一门类内可以从一门学科转移到另一门学科。

3. 普遍科学方法。即普遍适用于自然科学、社会科学和思维科学的研究方法。如数学方法、控制论方法、信息论方法、系统方法和基本的逻辑方法等。它具有更高的概括程度和更大的适用范围，具有跨学科和跨门类的性质。

4. 哲学方法。即认识世界和改造世界的根本方法，它是一切科学方法的概括和总结。哲学方法和普遍科学方法适用范围似乎相同，即普遍适用于自然科学、社会科学和思维科学的各个领域，然而，它们的概括程度却有所不同。哲学方

法着眼于各种方法最本质、最根本的联系或关系，是从哲学角度来概括方法论的理论，它同世界观所要回答的问题紧密联系；而普遍科学方法则只是从科学方法的一般联系，即从某个角度、某个方面来概括各门科学普遍适用的研究方式和方法，并不担负解决世界观的任务。

由此可见，系统方法在方法论体系中应属于第三个层次，是普遍适用的科学方法，因而国外有人把系统方法称为"全科学的方法"。

系统方法研究问题的抽象性和概括性，使它更容易与数学方法相结合。系统方法在研究问题时，把任何对象都看成是系统，着眼于系统要素之间的相互关系，确定它们的层次结构，这样就便于用数学方法和数学语言从定性定量的结合上研究和描述现实系统。同时，系统方法研究社会现象时，比其他任何方法更能将分析和综合、归纳和演绎等方法有机地结合起来，因而为运用数理逻辑方法和现代电子计算机开辟了广阔的道路，在解决大系统的组织管理问题方面发挥着巨大的作用。

系统方法是一般科学方法和哲学方法的中介和桥梁，它虽然比一般科学方法概括程度高、适用范围广，但它毕竟有别于哲学方法。因此，试图用系统方法取代哲学方法，甚至用它来取消辩证法的研究是不对的；同样，试图用哲学方法代替系统方法，从而否认业已存在的并正在蓬勃发展的系统方法的研究也是不妥的。系统方法一端与哲学方法直接衔接，另一端又与其他科学方法紧密结合，从而使它在促进科学方法论知识的整体化，以及加强哲学与自然科学、社会科学、思维科学的联盟上，发挥着重要的作用。

二、系统分析

系统分析是系统方法在科学决策中的具体应用。决策研究是现代管理学的一个分支，它探讨决策活动的理论和方法。作为科学的决策方法之一的系统分析，是系统论和管理学互相渗透，互相融合而形成的一种崭新的科学决策方法。

（一）系统分析的含义

所谓系统分析，就是在解决或处理系统的基本问题时，按照系统思想理论，应用科学的分析工具和方法，在确定或不确定的情况下，就全部问题，找出其合理目标和各种可行方案，从而帮助决策者就复杂问题进行最佳抉择。简单地说，系统分析就是对待特定的问题，利用数据资料，运用有关管理科学的技术和方法，协助决策者抉择的一种决策工具。

系统分析最早是由美国兰德公司在本世纪40年代提出来并使用的。近年来，它的应用范围已从早期的武器研制系统扩展到管理、交通、通讯、医疗、导航、航天技术、社会政治、国际关系、生态、教育等系统的研究领域。到了70年代中期，系统分析从作为分析经济合理性的应用工具和作为分析研究对象的理论体系互相分离的状态，逐步互相结合、互相补充，发展成为一种有效的方法体系。特别是在解决有风险的和不确定性的经济、军事、社会决策方面，系统分析提供了有效的手段。在改进决策系统的功能方面，发挥了重要作用。

系统分析的目的，在于通过分析比较各种备选方案的功能、费用、效益和可靠性等各项指标，得出决策者赖以进行决策的资料和信息，以作出正确的决策。因此，系统分析实质上就是在明确目的的前提下，来分析和确定系统所应具备的功能和相应的环境条件。

系统分析主要是以电子计算机为工具，来完成系统分析所需大量信息的收集、处理、分析、汇总、传递和存贮等任务。系统分析的重要方法是最优化方法，如规划论（线性规划、非线性规划、动态规划等）、图论、排队论等，使用优化方法来求解系统模型。

系统分析不同于一般的技术经济分析，它是从系统的总体最优出发，对系统进行定性和定量分析。它不仅分析技术经济方面的有关问题，而且还要分析政策、组织体制、信息、物流等各个方面的问题。系统分析没有特定的技术方法，它随分析对象和问题的不同而不同。

由于系统分析的范围十分广泛，问题性质的差异也很大，一般地说，对所分析的问题要提出一系列为什么，以求使问题得到正确的解答，如表12—1所示。

表12—1

事项	追求内容	决策	对策
目的	为什么要这样？	应做什么	删除不必要的
对象	为什么找这个？	应是什么	合并重复的
场所	为什么在这里做？	该在何处做	重新安排
时间	为什么这时候做？	该何时做	改变顺序
人员	为什么由这人做？	应由谁做	合适的人选
方法	为什么这样做？	如何去做	简化方法

（二）系统分析的要素

系统分析的要素，亦即系统分析的主要项目，包括目的、可行方案、费用、效益、模型、评价标准等。

1. 目的。目的的确定不仅是建立系统的依据，也是系统分析的出发点。

目的是指系统所希望达到的结果或效果。系统分析人员只有正确、全面地理解和掌握系统的目的及要求，才能进一步分析论证系统目的的正确性、完整性与可行性；才能根据目的为决策者提供出可供选择的多种方案；也才能为选取最优系统方案收集、提供正确、有用的信息和资料。可见，系统的目的是确定最佳方案实现最优决策的先决条件。

2. 可行方案。所谓可行方案，是指为达到某一目的时，所采取的各种手段和措施。这些手段和措施在系统分析中称为可行方案或备选方案。拟定各种可行方案是系统分析的基础。

系统方案的好与坏、优与劣，都是在对比中发现的。因此，只有拟定出一定数量和质量的可行方案，系统分析人员才能对各种方案进行分析和比较。如果只有一个方案，就无法进行对比。没有对比也就难以辨别优劣，因而也就谈不上选择最优方案的问题。

3. 费用与效益。所谓费用，是指用于方案实施的实际支出。所谓效益，是指达到目的所取得的成果。建立任何一个系统，都需要有一定的投资费用，而系统建成后就可以获取一定的效益，费用与效益是不可分离的两要素。因此，在进行系统分析时，要通盘考虑费用、效益及其相互关系。

费用与效益一般可以折合成货币的形态进行比较。比较

时，效益大于费用的设计方案是可取的，反之是不可取的。但在决定对社会有广泛影响的大规模项目时，还要考虑到非货币支出的费用，因为其中有些因素是不能用货币尺度来衡量的。例如，某些对政治有影响的因素、对生态环境有影响的因素以及对旅游事业有影响的因素等等。

4．模型。模型是描述对象和过程某一方面的本质属性的，它是对客观事物的一种抽象描述。因此，模型不但必须能够反映实际，而且还要高于实际。常用的模型有以下几种：

(1)实物模型。它是现实系统的放大或缩小，例如，建筑工程的建筑物模型、军事指挥部门制作的地形沙盘等。这种模型是用来模仿实际系统的物理状态和运动状态的，具有直观形象的特点。但其缺点是难以揭示实际系统的内在联系。

(2)图式模型。这种模型是用符号、曲线、图表和图形把系统抽象地表示出来。例如常用的设计图、工程图、网络图、流程图等。这是一种比实物模型更加抽象地描述实物的模型。

(3)模拟模型。它基本上可以分为两类：物理模拟模型和计算机模拟模型。利用这种模型可以模拟系统的性能和行为。

(4)数学模型。这是用数学方法描述系统变量之间相互作用和数量关系的模型。它是用各种数学符号、数值来描述工程、管理、技术、经济等系统中有关因素以及它们之间的相互关系的，是一种用数学来表达的算式。

根据数学模型中变量的性质，可将其分为确定性模型（如线性规划模型、非线性规划模型、网络模型等）和非确定性模型（如对策模型、决策模型、排队模型等）；连续性模

型和离散性模型（如动态规划中的某些模型）。若以用途来分，则又可分为经济模型、管理模型、社会模型、能源模型、人口模型、生态模型等等。

系统分析所采用的模型是多种多样的，但归结起来有如下特征：

(1)模型是实现系统的抽象描述。

(2)模型是由一些与所分析的问题有关的主要因素构成的。

(3)模型表明这些有关因素之间的关系。

总之，模型可将复杂的问题简化为易于处理的形式，同时还可以用简便的方式，在决策之前即可预测出它的结果。因此，模型是系统分析的主要工具，模型的建立是系统分析过程中的重要环节。

5. 评价标准。就是衡量可行方案优劣的指标。评价标准是根据系统的不同性质和要求而制定的。通过评价标准可对各种可行方案进行综合评价，确定出方案的优劣顺序。

不同的系统应具有不同的评价标准，评价标准要有一组指标作为基准。比如在生产管理系统，常用的指标有：劳动生产率指标、成本指标、时间指标、质量和品种改善指标、劳动条件改善指标以及特定效益指标等。

综上所述，系统分析的六要素可组成系统分析的结构图。如图12—1所示。

（三）系统分析的原则

对于系统，特别是复杂系统来说，在进行系统分析时，一定要以辩证唯物主义为指导，从客观实际出发，认真处理好系统内部、系统整体与外部环境诸因素之间的相互影响、

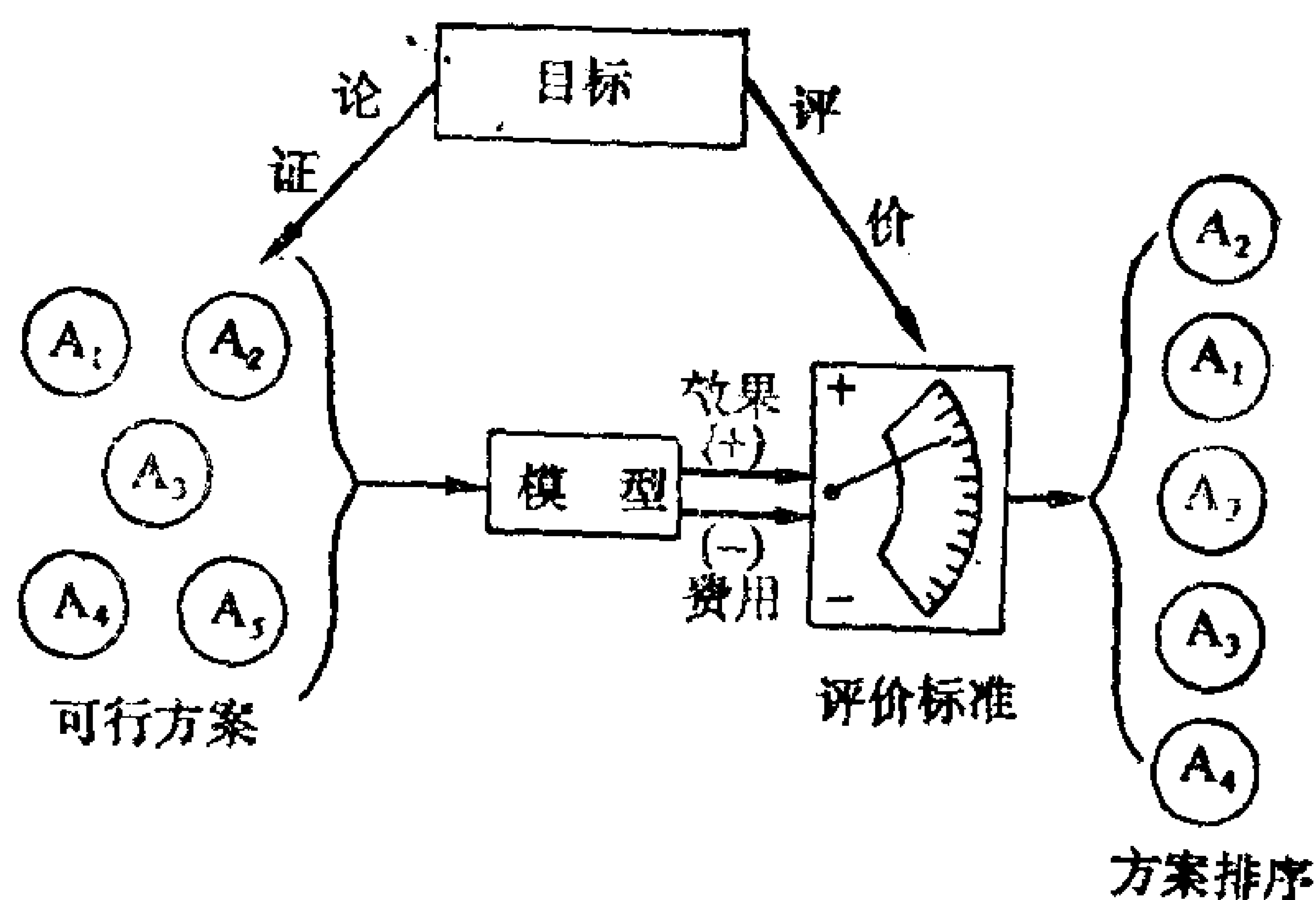


图 12—1 系统分析结构

相互制约的复杂关系。为此，必须遵循以下原则：

1．外部条件与内部条件相结合。一个系统的存在和发展，不仅受内部因素即内部条件的影响，而且也受到外部因素即外部条件的制约。对系统外部条件进行分析和研究，在于弄清目前和将来系统所处环境的状况，从而把握系统发展的有利因素和不利因素。对系统内部条件进行分析和研究，在于弄清系统内部诸因素及其关系，从而把握系统的性质和功能。为了实现最佳决策，必须将内部条件分析与外部环境分析紧密结合起来，作为制定管理决策的根据。

2．当前利益与长远利益相结合。选择一个最优方案，不仅要从目前利益出发，而且还要考虑到长远利益。如果我们选用的方案对目前和将来都有利，这当然是最理想和最完美的。但是，在现实的社会生活中，目前利益和长远利益常常会出现矛盾。在两者不能兼得的情况下，要从实际出发，

根据各种因素认真权衡利弊，慎重决策。要以战略眼光和求实精神，力争把两者统一起来，在服从长远利益的前提下，尽量使目前利益的损失减少到最低限度。

3．局部效益与整体效益相结合。系统作为有机的统一整体，它是由许多局部，即子系统组成的。人们在选择方案时，总是希望局部效益好，整体效益也好。但实际情况常常不理想，有时某些子系统的效益虽好，但整体效益并不好；有时子系统的效益虽不好，但系统整体的效益却很好。由于系统方法所寻求的是整体效益的最优化，因此要选择后者。在系统分析中，强调局部服从全局，并不是否认局部效益，更不是用全局效益来代替局部效益，而是在保证系统整体效益最优的前提下，把局部效益与整体效益结合起来。为此，既要有全局观念，使局部服从于整体，服务于整体，围绕整体进行活动；又要使整体关心局部，支持局部，为局部创造尽可能多的有利条件，使其充满活力。

系统分析除了遵循上述原则外，还要通过“定性——定量——定性”的循环往复过程，把定性分析和定量分析结合起来。只有这样，才能使分析的结果、建立的模型能正确反映原型的性质和状态，达到优化的目的。

（四）系统分析的步骤

系统分析的具体过程，因分析的对象和解决的问题不同而有所区别。但系统分析的一般过程，通常可遵循以下几个步骤：

1．提出问题，明确目标。系统分析首先要明确所解决的问题，以及问题的性质、重点和关键所在，恰当地划定问题的范围和边界，了解该问题的历史、现状和发展趋势，在

此基础上确定系统的目标。目标是系统目的的具体化。任何决策总是为了达到一个既定的目标，没有目标就无所谓决策。因此，提出问题、明确目标是科学决策的前提，也是系统分析的首要步骤。

例如美国的阿波罗登月计划。首先是摆明为什么要搞登月飞行？它有什么意义？这个问题的历史、现状和发展趋势怎样？实施这个计划的各种条件如何？如此等等。在摆明问题的基础上，明确具体的系统目标。这个目标就是：计划从1960年开始（实际上是1961年5月开始的），到1970年(实际上是1969年7月完成）把人送到月球，实现登月飞行。为实现这个目标，要组织2万多个公司、120多所大学和研究所、42万科技人员投入工作，耗资250多亿美元。

2．搜集资料，分析问题。提出问题、明确目标之后，还必须广泛搜集与所解决问题有关的一切资料。包括历史资料和现实资料，文字资料和数据资料。其中，尤其要重视反映各种因素相互联系和相互作用的资料。在分析和整理资料的基础上，尽量搞清楚所要解决的问题是由哪些内部和外部的因素组成的，其中占主要地位的有哪些，各自有什么特点和规律，它们之间的联系是怎样的？对这些问题分析得越透彻，成功的把握性就越大。

要使飞船按预定计划达到月球，又能使其安全返回地球，就要考虑抗高温技术如何？月球表面的情况如何？登上月球后会遇到什么样的问题？人在月球上是否可以存在？人在月球表面活动的信息如何传送回来？人怎样返回地球？……等等。对这一系列问题都要进行全面的分析。

3．建立模型，优选方案。为了便于分析，一般都要建立模型，尤其是数学模型，以描述与系统目标相关的因素之

间的数量关系。通过计算机分析计算和系统仿真，从中选出最优的方案。在这里，重要的是多拟定一些备选方案，一般地说，方案提得越多，选择最优方案的可能性就越大。方案选优就是根据预定的系统目标在可行性研究的基础上，主要从技术和经济两个方面，对各种方案进行比较和评价，权衡各方案的利弊得失，从中选出比较满意的方案，作为最优方案。

阿波罗登月计划就提出了三种方案，即直接登月方案、地球轨道交会方案和月球轨道交会方案。通过分析计算，无论在哪方面，月球轨道交会方案均占优势。在进展速度上，月球轨道交会方案比其他两个方案可提前几个月，经费可低10%；在难度上比其他方案要小；在发展潜力上，三个方案相同；在国民经济、军事上的作用三者相当；飞行安全概率三者相当；成功率方面，月球轨道交会方案与直接登月方案相近似，而地球轨道交会方案是前面两个方案的三分之二；登月人数、在月球的活动时间、规模范围，月球轨道交会方案也略占优势。这样，经过反复权衡、比较，优选出月球轨道交会方案付诸实施。

用系统分析优选出来的月球轨道交会方案，实施的实际结果表明，不仅工程耗资基本上是按当初的预案进行的，而且实现登月的阿波罗11号的实际活动，与原定计划相符的程度更是令人震惊，如表12—2所示。正如许多科学家评论所指出的那样，阿波罗登月计划的成功，是系统思想和系统方法的巨大胜利。

三、系统工程

系统工程是系统方法在组织管理中的具体应用。前边讲

表12—2　　阿波罗11号登月计划中预定与实际飞行时间比较

序号	登月飞行计划	预定飞行时间			实际飞行时间			误差	
		日	时	分	日	时	分	时	分
1	发射	16.	22	32	16.	22	32		0
2	进入地球转移轨道		22	44		22	44		0
3	进入月球轨道	17.	1	16	17.	1	16		0
4	飞船与登月舱进行轨道对接		2	42		1	57		45
5	进入月球椭圆轨道	20.	2	26	20.	2	22		4
6	转移到月球近圆轨道		6	41		6	44		3
7	登月舱与飞船分离	21.	2	41	21.	2	47		6
8	登月舱进入登月轨道		4	10		4	08		2
9	起动登月舱上的制动器，使登月舱开始向月面降落		5	07		5	05		2
10	登月舱在月面着陆		5	19		5	17		2
11	为在月面行走，放掉登月舱里的空气		15	02		10	53	4	09
12	宇航员走出登月舱，站在月面上		15	19		11	56	3	23
13	宇航员返回登月舱并往舱里再充气		17	42		14	11	3	31
14	登月舱离开月面并爬高	22.	2	55	22.	2	55		0
15	登月舱与飞船进行轨道对接		6	32		6	35		3
16	将登月舱分离		10	25		8	42	1	43
17	返回地球轨道		13	56		13	55		1
18	将动力系统从指令舱里分离出去	25.	1	22	25.	1	22		0
19	再入大气层		1	37		1	35		2
20	溅落到太平洋中部海域		1	51		1	50		1

* 表内所列时间均系日本时间。

到的系统分析，有些著作把它与系统工程看作是同一学科的不同名称，这是从广义上讲的。从狭义上讲，系统分析属于系统工程的准备阶段或开始阶段，而系统工程则包括组织管理的全过程。

（一）系统工程的概念

系统工程这一术语，是1940年由美国的贝尔电话公司提出来的。美国贝尔电话公司在发展微波通讯网络时，为缩短科学发明和投入应用的时间，在全国电讯网络中采用了新技术，从而提出了“系统工程”的名称。直到1957年，美国人古德（H·Goode）与迈克尔（R·E·Machol）出版了《系统工程学》这一专著，才标志着这门新兴学科的产生。60年代，系统工程得到了迅速的发展，而它真正被人们所重视则是从美国阿波罗登月计划开始的。70年代以后，系统工程广泛应用于军事工程、工农业生产规划、经济管理、交通运输、城市建设以及环境保护等方面，在解决复杂系统的组织管理问题中，日益显示出其重要性，引起了人们的普遍关注。

在我国，钱学森同志虽然早在1962年就开始倡导以系统工程的思想为指导，从事国防工业的研制和生产，但是由于十年动乱，直到1977年才正式把系统工程的研究列入国家重点科研项目。1978年9月27日，钱学森等发表了《组织管理的技术——系统工程》一文，对系统工程作了全面地论述。1980年11月正式成立了中国系统工程学会，实现了自然科学和社会科学的结合，标志着我国系统工程的研究和应用进入了一个新的阶段。目前，系统工程正以前所未有的速度向各个领域渗透，在社会主义现代化建设中发挥着越来越重要的作用。

什么是系统工程呢？系统工程不仅是一门综合性很强的技术科学，也是一门组织管理技术。它以系统特别是复杂系统为研究对象，以系统理论和方法去开发、创制人们所需要的各种系统，或者对已有的系统进行改造和管理，使之能够更好地按照人们的意愿进行工作。

系统工程作为当代正在发展和逐步完善的新兴科学，对其定义和范围，国内外至今没有统一的看法。不同领域的学者，从各自的背景和不同的角度出发，对系统工程自然会有不同的理解。

日本学者三浦武雄，在1977年《现代系统工程学概论》一书中指出："系统工程与其他工程不同之点在于它是跨越许多学科的科学，而且是填补这些学科边界空白的一种边缘科学。因为系统工程的目的是研制系统，而系统不仅涉及到工程学的领域，还涉及到社会、经济和政治等领域。为了适当解决这些领域的问题，除了需要某些纵向技术以外，还要有一种技术从横的方向把它们组织起来，这种横向技术就是系统工程。亦即，研究系统所需的思想、技术、手法和理论等体系化的总称"。① 我国著名学者钱学森等同志，在《组织管理的技术——系统工程》一文中则认为："'系统工程'是组织管理'系统'的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法"。② 在这里，明确地表述了三层意义：系统工程属于工程技术，主要是组织管理技术；系统工程是组织管理系统全

---

①转引自刘豹主编的《系统工程导论》，天津科学技术出版社，1987年1月版，第10页。

②钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术——系统工程》，《文汇报》1978年9月27日。

过程的科学方法；这种技术和方法具有普遍的实用性。

总之，系统工程有自己独特的思考方法，即系统方法。它是“把定量化的系统思想方法应用于组织管理的工程实践，寻求实践效果的优化”。① 简言之，就是用搞工程的办法进行组织管理。它在具体处理问题时，要把组织和管理的事物视为系统，运用概率、统计、运筹学、模拟等方法，经过分析、推理、判断、综合，建成某种系统模型，进而以最优化的方法，求得系统整体的最优规划、最优管理和最优控制。

（二）系统工程方法

系统工程作为一门新兴的组织管理技术，提出了一整套分析和处理各种系统的科学方法。对于分析和处理不同系统的各类系统工程，可以找到一套具有共同性的思路、方法或程序，我们把它称之为系统工程方法。一般公认霍尔三维结构就是比较通用的一种系统工程方法。

霍尔三维结构又叫系统工程三维结构分析，它是美国学者霍尔(A·D·Hall)在1969年提出来的，是目前国际上影响较大的一种方法。它非常概括地表示出系统工程在不同阶段所采取的步骤以及所要用到的有关科技知识。霍尔三维结构是由时间维、逻辑维和知识维组成的立体空间结构，如图12—2所示。

时间维。表示系统工程活动从规划阶段到更新阶段的工作顺序，共包括7个阶段：

1. 规划阶段——谋求活动的规划和战略。

①王寿云等：《系统工程名词浅释》，科学出版社，1982年版，第6页。

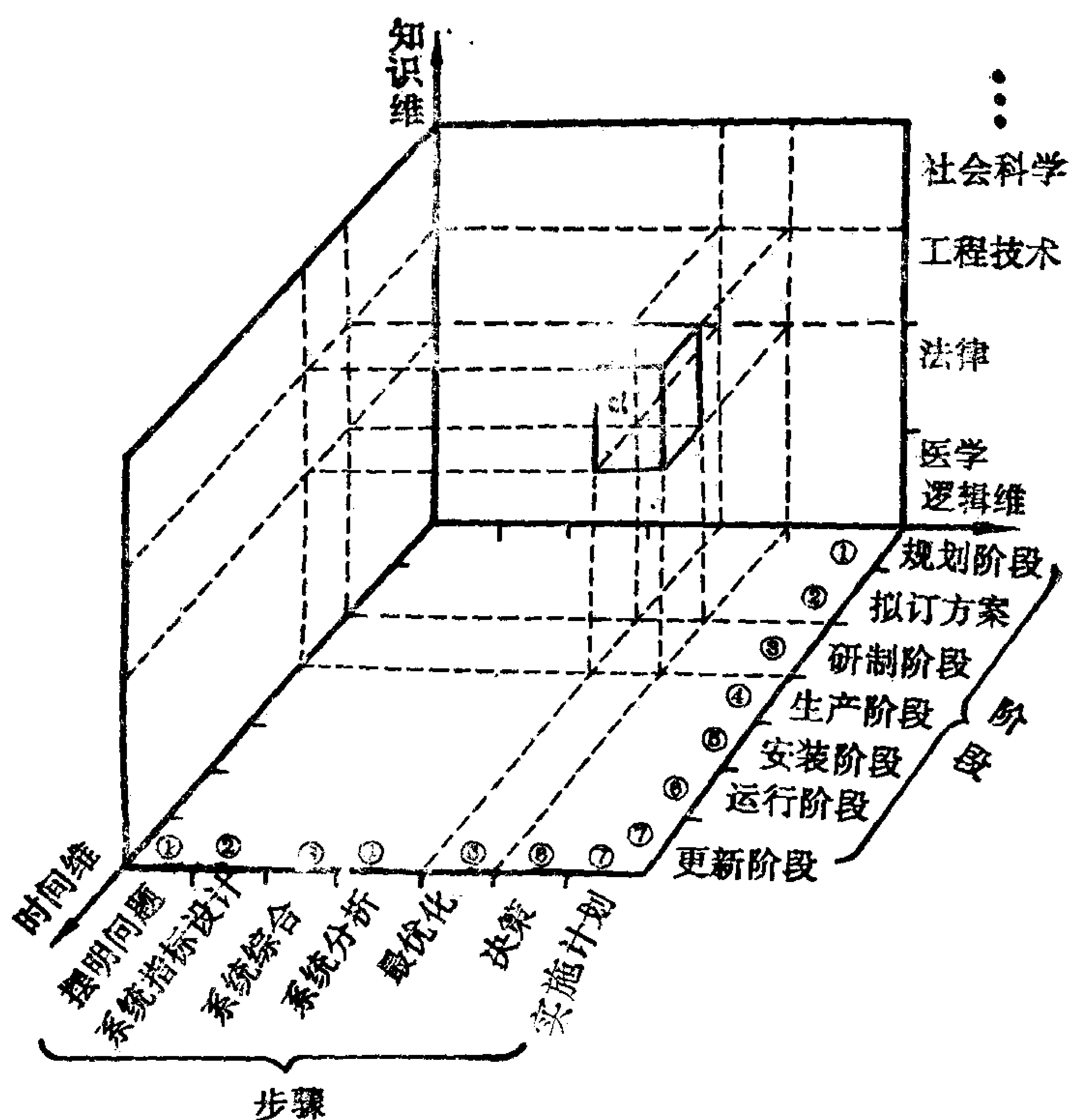


图 12—2 系统工程三维结构

2．拟订方案——提出具体的计划方案。

3．研制阶段——实现系统的研制方案，并制定生产计划。

4．生产阶段——生产出系统的零部件及整个系统，并提出安装计划。

5．安装阶段——将系统安装完毕，并完成系统的运行计划。

6．运行阶段——系统按预期的用途运转。

7．更新阶段——以新系统代替旧系统，或改进原系统，使之更有效地工作。

逻辑维。表示系统工程的每一个时间阶段应完成的步骤，共包括7个步骤：

1．摆明问题——收集有关待解决问题的历史、现状和发展趋势的资料和数据，把问题搞清楚。

2．系统指标设计——确定解决问题的指标（目标），并定出评价标准。

3．系统综合——把可能达到预定目标的若干政策、策略、行动或整个系统概念化、条理化。按问题性质及总的功能要求形成一组可供选择的方案，方案中要明确所选系统的结构和相应参数。

4．系统分析——对可能入选的方案，通过比较进行精简，并对精简后的方案的性能、特点及其与整个系统的相互关系进一步说明。为了便于备选方案的分析与比较，往往建立一定模型，将备选方案与系统的评价目标联系起来。

5．系统选择（最优化）——在一定的限制条件下，按照评价指标，采用一定的最优化方法，选出最优方案。

6．决策——由决策者根据全面的要求，最后决定一个或极少几个方案予以试行。

7．实施计划——根据选定方案，对系统进行实施。在实施过程中对上述6个步骤进行修改、完善，并予以确定下来，以保证顺利地进入系统工程的下一个阶段。

知识维。表示系统工程在进行上述阶段或步骤时所需要

的某些共性的知识和各科专业知识。在这里，霍尔把这些知识分成工程、医药、建筑、商业、法律、管理、社会科学和艺术等。钱学森同志将系统工程分为：工程系统工程（工程设计），科研系统工程（科学学），企业系统工程（生产力经济学），信息系统工程（信息学、情报学），军事系统工程（军事科学），……等等。不同的系统工程除需要一些共性的知识外，还需要使用其他相应的专业基础知识。

时间维、逻辑维、知识维，就构成了系统工程三维结构图。图中实体"α"，表示运用工程技术方面的知识，在研制阶段对方案进行最优化的步骤。

将时间维中的7个阶段所要采取的逻辑步骤综合在一起，可得到一个矩阵，这个矩阵叫霍尔的系统工程活动矩阵，如表12—3所示。

表12—3　　霍尔系统工程活动矩阵

逻辑步骤 \ 时间阶段	摆明问题	系统指标设计	系统综合	系统分析	最优化	决策	实施计划
1.规划阶段	a_{11}	a_{12}					a_{17}
2.拟订方案	a_{21}	a_{22}					
3.研制阶段			a_{33}				
4.生产阶段							
5.安装阶段					a_{55}		
6.运行阶段							
7.更新阶段	a_{71}						a_{77}

矩阵中a_{ij}表示系统工程的一组具体活动。例如，a_{22}表示在拟定方案阶段中系统指标设计这一步骤所进行的活动。矩阵中各项活动相互影响、紧密联系，构成了一个有机的整

体。只有将各阶段、各步骤的活动反复进行，才能取得系统整体最优效果。

（三）系统工程的应用

系统工程方法已广泛应用于工业、农业、军事以及社会经济等领域，并取得了显著效果。下边以上海交通大学系统工程研究所对上海新港址进行评价和选优的案例为例①概略地说明系统工程的思路和方法。

1．问题的提出

上海港位于我国大陆海岸线的中心、长江的出口处，是我国最大的港口，在80年代被列入世界十大港口之一。

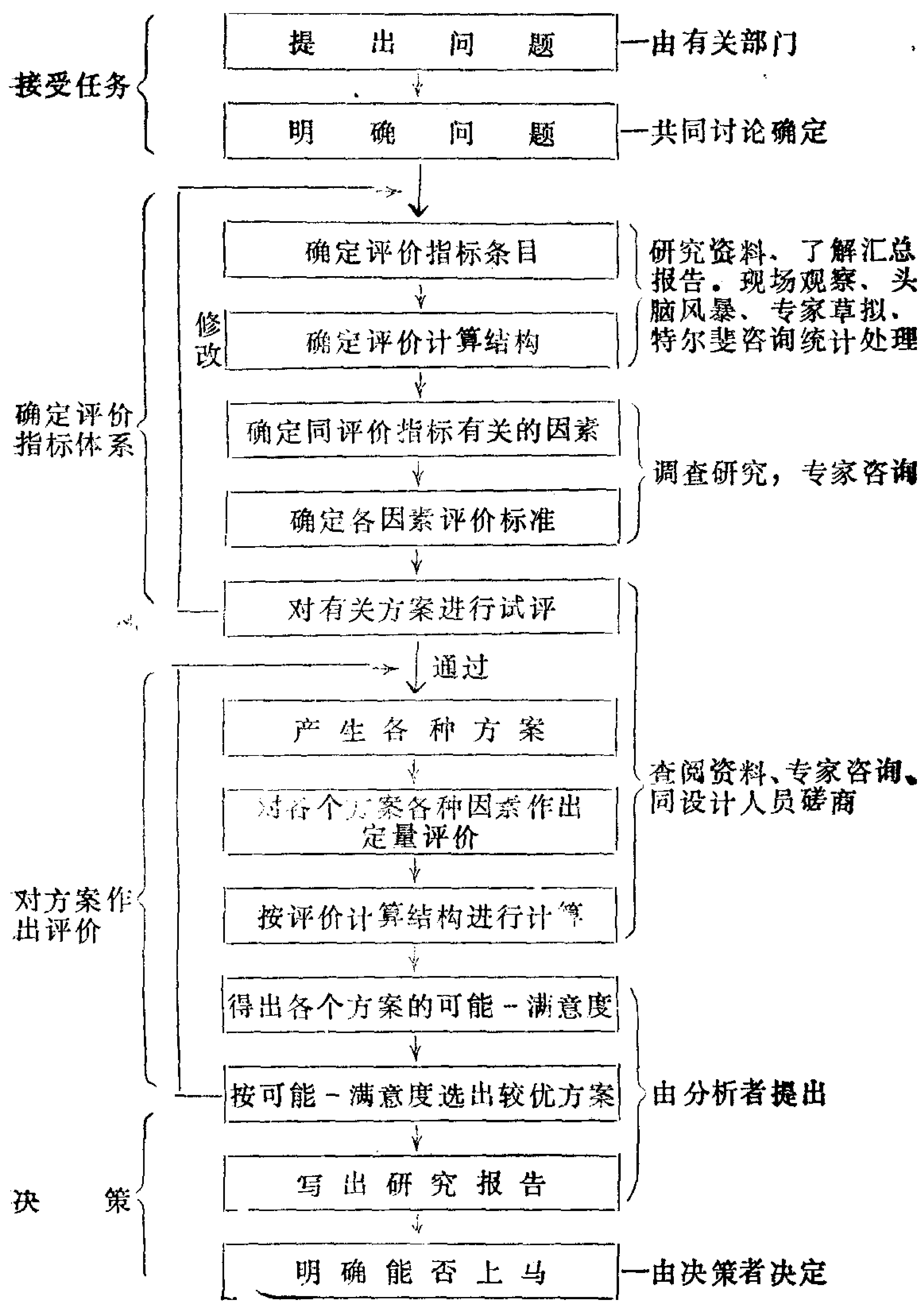
目前，上海港的吞吐能力已达到饱和状态。压航、压货、压客的现象比较严重，给我国在政治上、经济上造成了很大的损失。为适应我国国民经济战略目标的要求和对外贸易进一步发展的需要，必须建设上海新港区。在原有工作的基础上，初步提出四个方案，即罗泾、七丫口、外高桥、金山咀。要求在初步可行性研究中，对新港址进行评价和选优，为领导决策提供科学依据。

2．过程和方法

(1)过程。用系统工程的方法对新港进行评价和选优，其程序如图12—3所示。

(2)方法。可行性研究，目前还没有形成完整的方法，因此，只要能够完成可行性研究这项工作任务，能够回答“是否可行”和“何者为优”这两个问题的科学方法，就都是可用的。

①引自《系统工程应用案例集》，科学出版社，1988年8月出版，第135页。原文论述详尽，引用时做了文字上的压缩。



接受任务
提 出 问 题
一由有关部门
明 确 问 题
一共同讨论确定
确定评价指标体系
修改
确定评价指标条目
确定评价计算结构
研究资料、了解汇总报告、现场观察、头脑风暴、专家草拟、特尔斐咨询统计处理
确定同评价指标有关的因素
确定各因素评价标准
调查研究，专家咨询
对有关方案进行试评
通过
对方案作出评价
产 生 各 种 方 案
对各个方案各种因素作出定量评价
按评价计算结构进行计算
查阅资料、专家咨询、同设计人员磋商
得出各个方案的可能－满意度
按可能－满意度选出较优方案
由分析者提出
决 策
写 出 研 究 报 告
明 确 能 否 上 马
一由决策者决定

图 12—3

港口选址是政治、经济、地理条件及技术、交通、城市总体规划等因素相互交织在一起的十分庞大复杂的系统，是个多目标决策问题。因此，采用可能—满意度的多目标决策方法。

既要满足客观需要，又要考虑实际可能，针对“需要”和“可能”这一对概念给出“满意度”和“可能度”的定量描述。

可能—满意度就是把事物对各种属性的可能度$p(r)$、满意度q（s）并合成对于某一属性a的可能—满意度曲线。这条曲线定量地描述了既可能又满意的程度。以符号W表示，$W\in[0,1]$。当$W=1$时，表示百分之百的既可能又满意；当$W=0$时，表示或者完全不可能，或者完全不满意，或者既是完全不可能，又是完全不满意。这种并合可用符号表示如下，即

$$W(a)=\langle p(r)\circ q(s)\rangle$$

$$s.t.\ f(r,s,a)=0,\ r\in R,\ s\in S, a\in A$$

从定量角度来看，既有可能，又要满意，因此一般有关系式

$$W(a)\leqslant \max_{r(\text{或}s),p,q}, \ \min\langle p(r),q(s)\rangle$$

$$s.t.f(r,s,a)=0,\ r\in R,\ s\in S,\ a\in A$$

要把各分项可能—满意度并合成总的可能—满意度时的计算方法，可以采用多目标决策中的多维价值组合规则，诸如代换、加法、乘法和混合运算等。

3.评价指标体系

对不同港址进行评价和选优，必须建立能对照和衡量各个送审方案的统一尺度，即评价指标体系。它是一切规划和制定方案工作中基础的一环。

评价指标体系必须科学、客观、全面地考虑各种因素，包括建设港口所需考虑的全部主要因素以及港口建成后产生的效果和利弊。通过查阅大量资料，现场观察，走访各有关新港区的可行性研究分项咨询单位，多次与上海港务局有关领导、设计人员讨论，并通过两轮特尔斐（Delphi）法咨询，又经过反复的研究、推敲，设计出与国家政策一致性3条、技术20条、经济13条、与城市和地区发展规划的关系7条、与全国交通网联系8条、资源11条、环境保护4条、受国内其他项目影响2条、军事2条，共计9大类70条的评价指标。并对9大类70条指标的重要程度作了区分，即极重要*A*、很重要*B*、重要*C*、应考虑*D*、意义不大*E*和不必考虑*F*。如图12—4所示。

4.评价指标定量化

对评价指标进行了定量化处理，使70条评价指标逐条地制定评价的因素和标尺。

评价的因素：用某种物理量或参数来衡量评价指标。

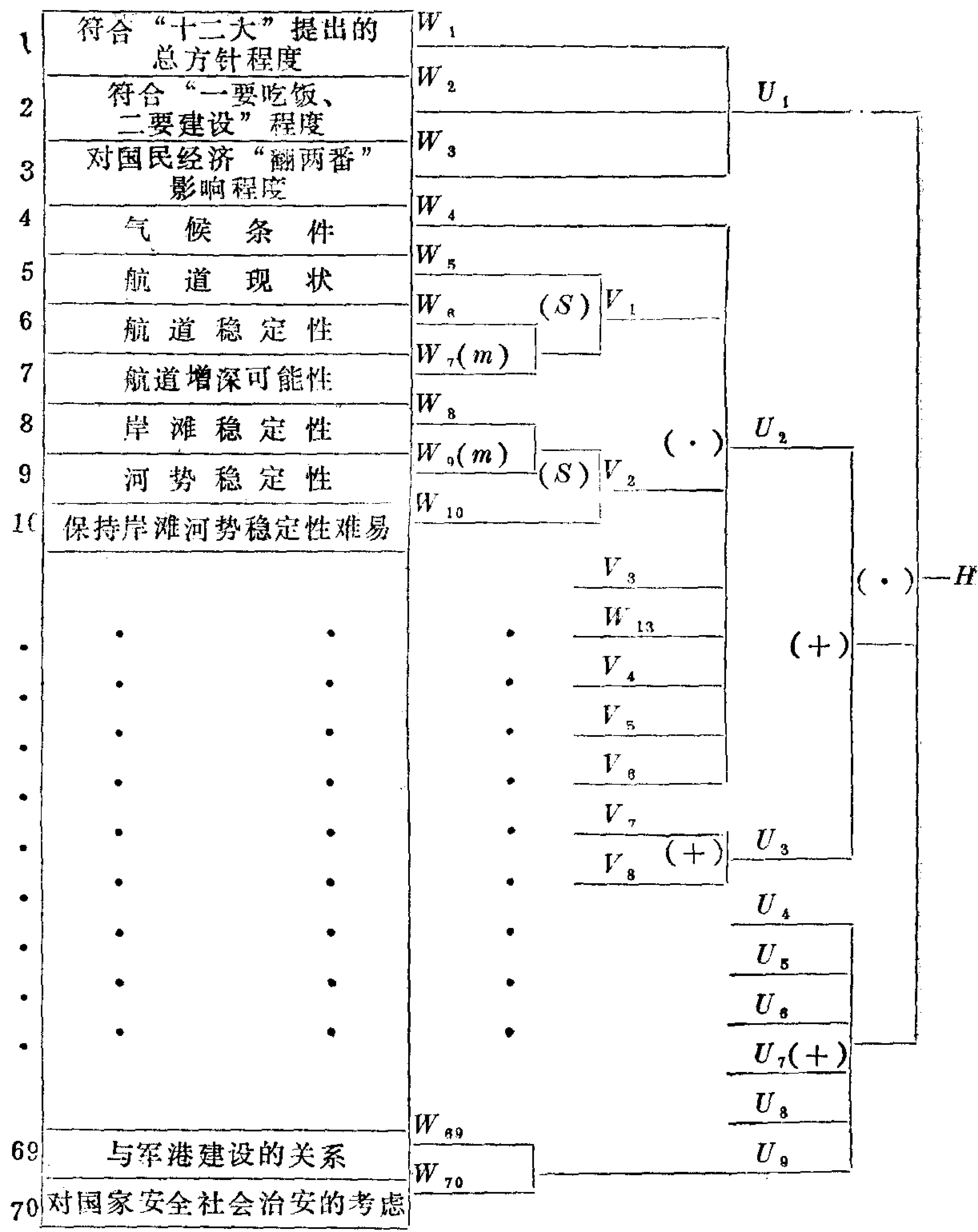
评价的标尺：对评价的因素定量地规定其临界值，即判断优劣的上、下界限值。

通过查阅资料，访问设计者、用户，或根据多年的实践经验，制定出评价的因素和标尺，分别对70条评价指标进行量化。其结果如表12—4所示。

5.数学模型

系统工程方法的主要手段是依靠数学模型进行分析和运算。

港址评价指标体系不仅目标多，影响因素多，而且这些目标、因素间存在着错综复杂的相互关系，是一个多目标决策问题。若对此进行一揽子的讨论，是较为困难的。因此，



注 H—选址点可能满意度；
U_1—与国家政策的一致性；
U_2—技术：
V_1—航道；
V_2—岸滩河势；
V_3—回淤；
V_4—主要建筑物；
V_5—规模；
V_6—运行、维修；
U_3—经济：
V_7—直接经济；
V_8—间接经济；
U_4—与城市、地区发展关系；
U_5—交通网联系；
U_6—资源；
U_7—环境保护；
U_8—受国内重大项目影响；
U_9—军事。

图12—4

表12—4

指标序号	标尺单位	R_A	R_B	R			
		(或）分级		金山咀	外高桥	七丫口	罗泾
1		分级		0.95	0.95	0.95	0.95
2	亿元	30	150	73.56	74	89.45	17.35
	年	20	100	23.0	27.8	37.6	41.5
3	千万吨	5	0	6.28	6.078	6.036	1.11
4	天	340	150	300	331	331	331
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮
69		分级		1.0	0.8	0.5	0.5
70		分级		1.0	0.8	0.5	0.5

处理这类问题的方法可以是先将其分成几个单目标，分层次逐级地综合成一个总目标，构成一个目标树。

各港址方案的可能—满意度的数学模型用算式表示如下：

$$H_i = \langle U_1(\cdot)\langle U_2(+)U_3\rangle(\cdot)\langle U_4(+)U_5(+)U_6(+)U_7(+)U_8(+)U_9\rangle\rangle$$

式中 $U_1 = \langle W_1(+)W_2(+)W_3\rangle$

$$U_2 = \langle W_4(\cdot)V_1(\cdot)V_2(\cdot)V_3(\cdot)W_{13}(\cdot)V_4(\cdot)V_5(\cdot)V_6\rangle$$

…………

$$U_9 = \langle W_{69}(+)W_{70}\rangle$$

$$V_1 = \langle W_5(s)\langle W_6(m)W_7\rangle\rangle$$

$$V_2 = \langle\langle W_8(m)W_9\rangle(s)W_{10}\rangle$$

…………

$$V_{10}=\langle(W_{56})^{(\frac{1}{W_{57}})}(+)W_{58}\rangle$$

$$V_{11}=\langle W_{60}\ (+)\ W_{61}\rangle$$

W_k—70条评价指标的可能—满意度，$k=1\sim70$；

V_k—分项评价指标的可能—满意度，$k=1\sim11$；

U_k—大类评价指标的可能—满意度，$k=1\sim9$；

H_i—港址评价指标可能—满意度，$i=1\sim4$。

上述数学模型是在分别得出70条评价指标可能—满意度W_k的基础上，根据它们在评价指标体系中重要程度的等级及其相互关系，应用多维价值组合规则，分层次、逐级地并合成分指标可能—满意度V_k，进一步并合成9大类指标可能—满意度U_k，最后综合成方案总的可能—满意度H_i，即某港址方案的可能—满意度。上述计算结构参见图12—4。

6.仿真计算

建立数学模型是为了能对各选址方案最终得出定量的描述。对于每个送审的港址方案的总的可能—满意度值，需要代入200多个数据，解20多个方程才能得出，在完成港区选址数学模型后，需要编辑程序并在BURROUGHS—1955机上进行仿真计算，最终才能得出四个选址点总的可能—满意度值H_i。程序框图如图12—5所示。

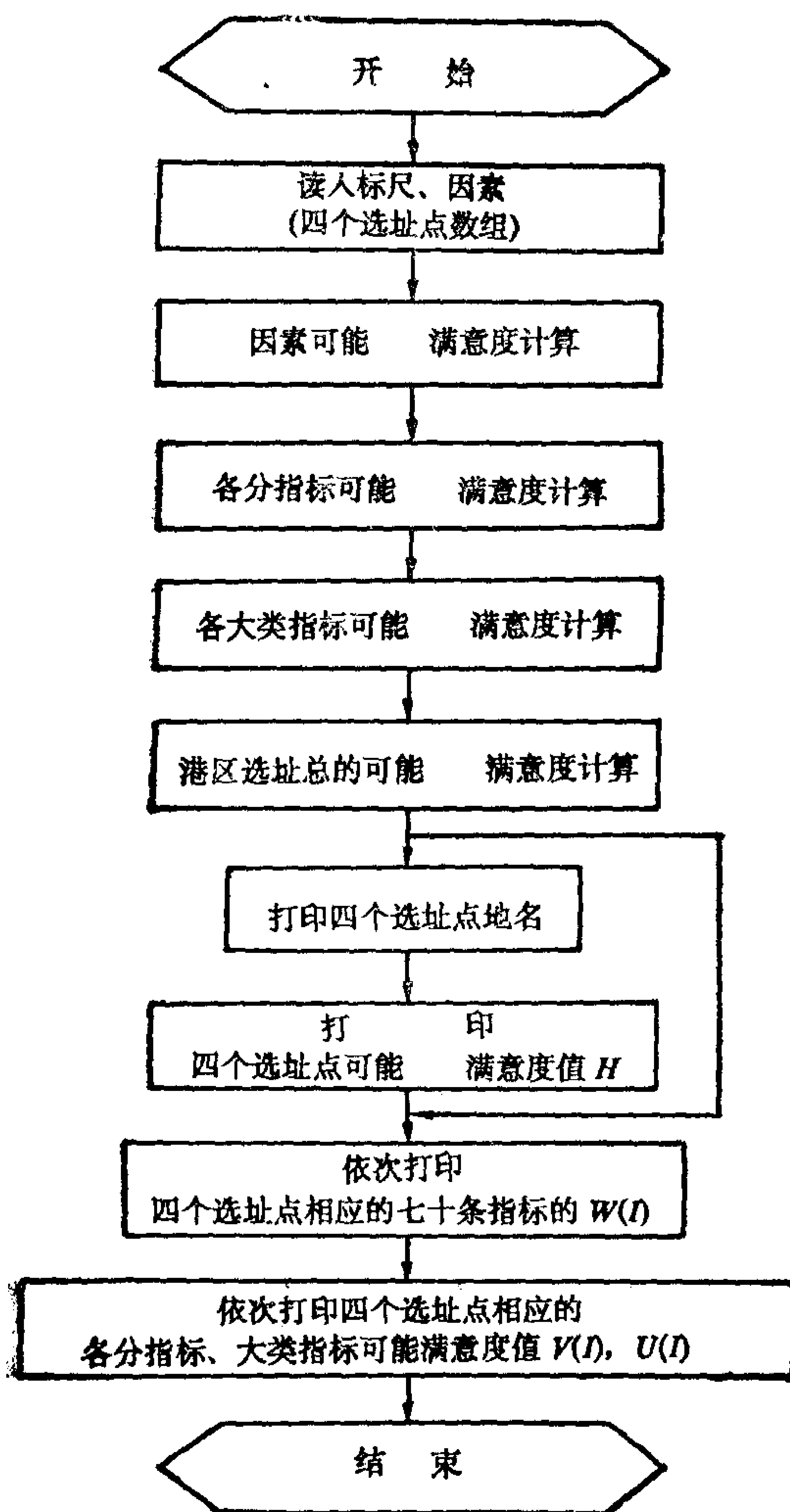
7.分析

经过仿真计算，最后得出四个选址点的总可能—满意度值，按其数值大小依次为：

$H_{金山咀}=0.78767$

$H_{外高桥}=0.782403$

$H_{七丫口}=0.73931$



开 始
读入标尺、因素
(四个选址点数组)
因素可能 满意度计算
各分指标可能 满意度计算
各大类指标可能 满意度计算
港区选址总的可能 满意度计算
打印四个选址点地名
打 印
四个选址点可能 满意度值 H
依次打印
四个选址点相应的七十条指标的 W(I)
依次打印四个选址点相应的
各分指标、大类指标可能满意度值 V(I), U(I)
结 束

图 12—5

$H_{罗泾}=0.672645$

（1）从70条指标的可能—满意度值W_k的大小，可以看出四个选址点各大类指标U_k优劣的原因。

（2）从9大类各个可能—满意度值U_k来考虑，就可以看出总的可能—满意度值H_i。

例如，由于金山咀U_{1j}，U_{4j}，U_{8j}，U_{9j}等四项均为最大，而U_{1j}在“评价指标体系”九大类中又是属于极重要的等级，至于交通、资源方面虽属最差，但与另外几个选址点比较起来，差距并不大，因此，金山咀在四个选址点中为最佳方案。

（3）金山咀与其他三个选址点相比较其H值为最大，但其绝对值H还未达到优、良等级，其原因是回淤量过大，建设周期过长，再加上征地、环保、交通等项目因素上的缺陷，因此建议对金山咀回淤量等作深入研究。

（4）进一步作了灵敏度分析计算，为深入分析提供了更多的信息。

8.结论

通过“评价指标体系”，运用可能—满意度方法建立港址评价和选优的计算结构、数学模型，经计算机运算，可以得到如下结论：

（1）金山咀、外高桥、七丫口、罗泾均可作为上海新港区选址点，因为它们的可能—满意度值H都大于0.6，即全都及格，建议市政府及有关领导要把四个选址点都保留作为新港址的备用点。

（2）如按可能—满意度值H的相对大小排列，则次序为金山咀、外高桥、七丫口、罗泾，但金山咀的可能—满意度值小于0.8，属于中等，并非为良和优，建议有关方面对

薄弱的关键因素组织力量作进一步的深入研究。

（3）经灵敏度分析，上述结论比较稳定。这说明上述结论的可信度较高。

归纳为一句话就是，金山咀、外高桥、七丫口、罗泾四个选址点全都及格，但都不很理想，各有千秋，金山咀略胜一筹。

本报告的结论已被上海市人民政府及有关部门采纳，并正在实施之中。

系统论的新发展

第十三章　耗散结构论

一、耗散结构论的产生

耗散结构论是由世界著名物理学家、比利时布鲁塞尔学派领导人普利高津（I·Prigogine）教授创立的。他于1969年在“理论物理与生物学”的国际会议上，发表了题为《结构、耗散和生命》的科学论文，首次提出了这一理论，正式宣布了耗散结构论的诞生。

耗散结构论是非平衡统计物理学长期发展的结果，是普利高津及其所领导的布鲁塞尔学派多年辛勤劳动的结晶。布鲁塞尔学派是国际上著名的非平衡物理学派，它集中了十多个国家的近百名科学工作者，集中研究有关非平衡态统计物理和热力学方面的问题，已历时30多年，取得了显著的成绩。

19世纪的自然科学，给出了人们两种完全相悖的结论，描绘出两种截然不同的前景：动力学和热力学给出了两种不同的物理图象——可逆与不可逆；热力学和生物学给出了两种不同的时间箭头——退化与进化。

传统的动力学给出的是一个可逆的、对称的物理图象。

在经典力学的牛顿方程

$$\vec{F}=m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

中，当时间t改变符号时，方程仍保持不变，表明这里无时间箭头。由开尔文和克劳修斯建立的作为热力学理论基础的热力学第二定律，打破了经典力学关于时间可逆、对称理论的一统天下，第一次描述了时间不可逆，指出了对于一个孤立系统的不可逆过程。在描述这种过程的付里叶方程

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t}=-\lambda\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}$$

中，如果时间t改变符号，则方程随之也要改变，即付里叶方程不具有时间反演的对称性，表明这里具有时间箭头。

可逆与不可逆、有无时间箭头的问题体现了动力学和热力学之间的重大间隙，而时间箭头的指向问题则构成了物理、化学等研究无生命的科学与生物学、社会学等研究生命的科学的另一更为基本的矛盾。这种矛盾集中地体现为热力学第二定律和达尔文的生物进化论的对立。它们都涉及物质世界运动的方向，即时间箭头的指向问题。按照热力学第二定律，系统总是自发地从有序变为无序，也就是熵增原理。如果把这一原理外推到整个宇宙，宇宙将是一个熵增加的退化过程，那么随着宇宙的熵趋于极大，宇宙万物最终便会达到热平衡，也就是达到宇宙的末日，从而得出“宇宙热寂说”的悲观结论。达尔文的生物进化论却认为，世界是一个由简单到复杂，由低级到高级的演化过程。它告诉人们，生物是由最低级的单细胞逐渐进化到高级的动物，最后出现了人，世界发展的方向，是越来越复杂，越来越有序。

两种完全相反的结论，长期以来成为科学家和哲学家争

论研究的重大问题。两种矛盾的自然观，造成了两个世界、两种科学以及人与自然的严重对立，二者之间形成了巨大的鸿沟。

那么，怎样把二者统一起来呢？普利高津正是从这个理论逻辑上的矛盾入手，在前人研究成果的基础上，从非平衡物理学领域开始了新的探索。普利高津以热力学第二定律所揭示的时间的不可逆性作为自己研究的出发点，他和他的合作者们以极大的兴趣和热情，几十年如一日地致力于不可逆过程的研究。

普利高津首先把他的注意力从平衡态转移到近平衡态。1931年，昂萨格（Onseger）倒易关系原理的出现，给线性区不可逆过程的研究带来了极大的方便。根据昂萨格倒易关系

$$L_{ij}=L_{ji}$$

第i种力对第j种流的影响与第j种力产生第i种流的能力相同，这种交叉系数间的对称性和流与力的具体类型无关。这样，昂萨格倒易关系就在看来全然不同的不可逆过程之间建立了量的联系，阐明了非平衡线性区的流与力的关系，成为线性非平衡热力学中的一条基本定理。昂萨格因此获得1968年诺贝尔奖金。在昂萨格倒易关系原理的基础上，1947年普利高津进一步推导出近平衡区的又一重要定律——最小熵产生原理。这一原理指出，当系统达到非平衡定态时，熵产生率取最小值，从而奠定了近平衡态线性非平衡热力学和统计物理学的理论基石。

应该指出的是，以上论证都是在线性非平衡条件下进行的，而且要求系统离平衡态不远。当系统远离平衡态时，情况又怎样呢？为此，普利高津把研究内容深入到远离平衡态

的非线性区这个新的领域。开始，普利高津发现，在这一领域，问题变得相当复杂，线性关系不再适用，昂萨格倒易关系原理和最小熵产生原理不再成立，在平衡态和近平衡态呈现一定规律的东西，在远离平衡态时则依赖具体条件、具体系统表现出多样性。然而，普利高津却从中得到有益的启示，认识到远离平衡态的系统的热力学性质可能与平衡态、近平衡态的热力学性质有重大原则区别，即第二类进化的时间箭头有可能在远离平衡区域实现。在这种新的思想指导下，经过20多年的探索，终于建立起一个新的学说——耗散结构理论。

耗散结构论的建立，使科学发展的前景发生了根本的转折。它结束了科学界长达一个多世纪的争论，把两种物理图象、两种时间箭头巧妙地统一了起来。在这里，普利高津从更高的角度形成对时间和复杂系统的深刻见解。他认为时间不应仅仅简单的作为力学方法中说明运动的一个参量，它联系着历史，联系着演化和世界的发展。通过对系统演化史的考察，时间不再是系统外界的参数，而成了非平衡系统内部进化的度量。时间观念可以分为不同层次，在这些层次体系中，与动力学相联系的时间是可逆的，它仅仅是运动的几何参量，与热力学相联系的时间是不可逆的，与生物进化论水平相联系的时间与“历史”相联系，这些不同层次的时间相互联系，并依一定条件相互过渡。这种认识上的飞跃，把动力学与热力学，热力学第二定律与进化论之间关于时间的可逆与不可逆，退化与进化的矛盾统一了起来，实现了系统从存在到演化的过渡，从可逆到不可逆、对称到不对称的过渡。他告诉人们，两种物理图象和两种时间箭头并无根本的对立，前者不过是有限简单与无限复杂系统的两种体现，后

者不过是热力学第二定律在不同条件下的表现。可逆性和决定论只适用于有限的简单的情况，不可逆和概率论是关于复杂世界的规律，二者之间是互补的关系。普利高津赞同英国物理学家爱丁顿把牛顿定律视为控制单个粒子的一级规律，把热力学第二定律视为适用复杂粒子集合的系统的二级规律，它们之间相互联系和相互补充的观点。孤立系统或近平衡系统的演化，表现出第一类时间箭头，而当开放系统处于远离平衡态的条件时，就有可能表现出第二类时间箭头。耗散结构论从此填平了柯伊莱所说的“物理的、量的世界”与“生物的、质的世界”之间的鸿沟，找到了它们所遵循的共同的演化规律。

不仅如此，耗散结构论还为人类提供了一种全新的科学的自然观和系统的方法论。普利高津在探索时间上的可逆性与不可逆性、对称性与非对称性；在探索物质结构的有序性与无序性、平衡性与非平衡性、稳定性与不稳定性；在观察分析非平衡系统中的简单性与复杂性、局部性与全局性；在研究运动规律方面的决定性与非决定性及动力学与热力学等方面，都充满着辩证思维和新的科学思想。他所提出的一些新的概念、思想、观点、方法，不仅为唯物辩证法和唯物主义认识论提供了丰富和具体的论证，大大丰富了马克思主义的哲学宝库，而且对自然科学、社会科学的发展，起了极大的推动和促进作用，对人类整个科学事业产生了深远的影响。因此，耗散结构论被人们誉为70年代科学的辉煌成就和本世纪的前沿理论之一。普利高津因创立这一理论而获得了1977年诺贝尔化学奖金。

耗散结构论产生近20年来，显示了巨大的生命力，取得了很大的发展，目前已形成比较完整的理论体系，成为现代

系统科学的一个重要的理论分支。普利高津关于耗散结构论的主要著作有：《结构、耗散和生命》、《非平衡系统的自组织》、《时间、不可逆和结构》、《时间、结构与涨落》、《从存在到演化》、《从混沌到有序》等。

二、耗散结构论的基本内容

耗散结构论是一门研究耗散结构的性质、形成、稳定和演变规律的科学，是关于非平衡系统的自组织理论。它主要研究一个系统从无序向有序转化的机理、条件和规律，讨论自组织过程的一般的基本的原理。这一理论指出，一个开放系统（不管是力学的、物理的、化学的还是生物的系统）在到达远离平衡态的非线性区时，一旦系统的某个参量的变化达到一定的阈值，通过涨落，系统可能发生突变，即非平衡相变，由原来的无序的混乱状态转变到一种时间、空间或功能上有序的新的状态。这种有序状态需要不断地与外界交换物质和能量才能维持，并保持一定的稳定性，不因外界的微小扰动而消失。这种在远离平衡的非线性区形成的新的稳定的有序结构，普利高津称它为耗散结构。贝纳德对流、激光、某些化学振荡、一座城市、一个生命体等，都是一种耗散结构。系统这种在一定条件下能自行产生的组织性和相干性称为自组织现象。在这一理论中，普利高津着重阐述了以下几个基本观点：

（一）耗散结构必须是开放系统

普利高津依据系统与外界的相互关系，把系统分为孤立

系统、封闭系统、开放系统。孤立系统不受外界影响，与周围环境没有物质、能量和信息的交换；封闭系统只与外界发生能量交换（做功或传热）；开放系统与外界既有能量交换、信息交换，又有物质交换。在耗散结构论中，系统分为两类，即孤立系统和开放系统，封闭系统包括在开放系统之中。耗散结构论研究的对象是开放系统，因为孤立系统根本不可能出现耗散结构。关于这一点，热力学第二定律讲得很清楚。根据热力学第二定律，一个孤立系统的熵只会随时间而增大，熵达到极大值，系统就到达最无序的平衡态，变成一种死的结构。开放系统所以能够形成耗散结构，主要是因为开放系统能够与外界进行熵的交换。在开放系统中，系统的熵ds由d_es和d_is两部分组成，即

$$ds=d_es+d_is$$

其中d_es是系统与外界相交换的熵，d_is是系统内部产生的熵。开放系统通过不断地从外界吸收负熵流（$d_es<0$），来抵消系统内部的熵增加（$d_is>0$），只要这个负熵流足够强，在抵消了系统的熵增加之后，还能够使系统的总熵ds减小，使系统进入相对有序的状态，形成耗散结构。

开放系统不仅是耗散结构形成的前提，同时也是耗散结构得以维持和存在的基础。因为耗散结构实质上就是远离平衡态的非线性系统，通过与外界不断地交换物质、能量、信息来维持的一种动态有序结构。为了保持这种结构，这种交换就一刻也不能停止，一旦把系统孤立起来，系统失去了与外界进行交换的条件，这种结构很快就会瓦解。例如，贝纳德对流是靠系统不断地与外界进行热交换而得以维持的一种流体宏观有序现象，一旦中断热源，对流现象就会消失。激光也是靠光泵不断地给系统输送能量（如给半导体两端加

上电压）来维持的，没有光泵连续不断地做功，激光就不能持续地产生。一个生命体，如果停止了与外界的物质、能量、信息的交换，新陈代谢就会停止，就会死亡。所以，要使一个系统产生和保持耗散结构，必须首先为系统创造充分开放的条件，使其成为远离平衡态的开放系统。

（二）非平衡态是有序之源

普利高津认为，开放系统只是耗散结构形成的必要条件，但不是充分条件。他指出："一个开放系统并没有充分的条件保证出现这种结构"，耗散结构只有在系统保持"远离平衡"的条件下，才有可能出现。① "非平衡是有序之源"，这是普利高津研究问题的一个基本出发点。这里所说的非平衡态是指系统远离平衡态的状态，平衡态和近平衡态都被排除在外。因为系统在平衡态和近平衡态线性区，即在热力学支点之前，系统是处于稳定状态或趋于稳定状态，系统总的倾向是趋于无序或趋于平衡，小的涨落和扰动很难改变系统的这种状态和趋势，所以系统不可能出现新的有序结构。当系统在远离平衡态的非线性区时，系统处于一种十分不稳定的状态，一旦外界对系统施加足够的影响，系统就有可能通过涨落或突变进入一个新的稳定有序状态，形成新的稳定有序结构。例如，在激光系统中，只有当光泵功率大到使系统发生原子布居的反转（远离平衡）时，激光才能产生。在贝纳德对流实验中，只有在两板温度差超过临界值，流体系统出现强烈的非平衡时，才会出现宏观有序的对流现象。倘若没有温差或温差很小，流体处于平衡态或近平衡

①I·普利高津：《复杂性的进化和自然界的定律》，《自然科学哲学问题》，1980年第3期。

态，那么流体分子将永远是处于一种完全混沌无序的状态，对流就根本不可能出现。

这里，应当强调指出的是，耗散结构与平衡结构是有着本质差别的截然不同的两种结构。平衡结构是一种“死”的结构，或者说是一种静态的稳定结构，它的存在不依赖于外界。这种结构形成后，最好将系统孤立起来，设法使它与外界隔绝，才能保持不变。例如，只有将冰块放入保温桶内，才不致融化。而耗散结构是一种“活”的结构，或者说是一种动态的稳定结构，它是一种远离平衡态的稳定态。这种结构只有在开放和非平衡条件下才能形成，只有在系统与外界保持连续不断的物质、能量、信息交换的过程中才能维持，它的存在强烈地依赖于外部条件。所以，耗散结构是系统的一种非平衡定态。正是这种非平衡，才使系统产生和具备了与外界进行物质、能量、信息交换的势能和要求，这就是普利高津关于“非平衡是有序之源”的根本含意。为此，欲使系统形成耗散结构，必须设法驱动开放系统越出平衡态区和近平衡态线性区，到达远离平衡态的非线性区域去。

（三）非线性作用是有序的动力

普利高津通过对非平衡系统的长期研究，发现复杂系统内部诸要素的非线性相互作用是推动系统向有序发展的内部动力，是形成耗散结构的重要机理和必要条件。这种非线性相互作用，能使系统各要素间产生协同作用和相干效应，从而使系统由混乱无序变为井然有序。

非线性相互作用的这种特殊功能，是由非线性相互作用的特性所决定的。所谓非线性作用，是指复杂系统中要素间存在的相互作用方式，由于描述这种相互作用的方程是非线

性微分方程，所以称此为非线性相互作用。非线性相互作用与线性相互作用相比，具有线性相互作用所不可能具有的特点和功能。线性相互作用是数量上可叠加的相互作用，具有独立性、均匀性和对称性。线性相互作用的结果，只能是数量上的叠加，不可能产生质的变化。虽然在系统的演化过程中，线性正反馈可能使热力学分支失稳，也可能通过自我复制而产生宏观有序，但它却无法重建一个新的稳定状态，即新的耗散结构。例如，混乱的发光原子的线性叠加仍然是混乱的，不可能由无序的自然光转变为有序的激光。而非线性相互作用则不同。由于它具有不独立的相干性、时空的不均匀性和多体的不对称性等特点，所以它不能简单地进行数量叠加，而是随时间、地点和条件的不同，呈现出不同的相互作用方式和不同的效应。形成作用对象之间支配与从属、催化与被催化、控制与反馈等复杂的多维关系。

非线性相互作用在耗散结构的形成和演化过程中主要产生两种效应。一是相干效应。这种效应使元素间相互制约、耦合而产生整体效应，使线性叠加失效，元素的独立性丧失，使系统产生自组织结构。二是临界效应。这种效应使系统在临界点上失稳，发生分支、分叉演化，而按一个分支以上即多分支演化为新的系统，形成新的结构。这两种效应是耗散结构形成和存在的内在机制。所以普利高津指出："与平衡结构不同，耗散结构可以具有包含大量个体协作的相干状态。"①

由此可见，普利高津是从复杂系统内部诸要素的相互作用是推动系统发展的动力的观点出发，找到了耗散结构形成

①I·普利高津：《复杂性的进化和自然界的定律》，《自然科学哲学问题》，1980年第3期。

和发展的机制。他告诉人们，使系统产生并保持耗散结构的根本原因，在于系统内部诸要素间存在的非线性关系，以及由此产生的非加和作用。否则，系统根本不可能产生和保持有序状态。

（四）随机涨落是有序的契机

普利高津分析了随机涨落在耗散结构形成过程中的重要作用，提出了“涨落导致有序”的观点。所谓涨落，是指系统的某个变量或某种行为对平均值的偏离。涨落是偶然的、随机的、杂乱无章的，在不同状态下有不同的作用。普利高津指出，在平衡态和近平衡态，涨落是一种破坏稳定性的干扰，起消极作用。在远离平衡态，它是系统由不稳定状态形成新的稳定有序状态的杠杆，起着积极的建设性作用。他认为，当系统处于远离平衡态时，随机的小涨落可以通过非线性的相干作用和连锁效应被迅速放大，形成宏观整体上的“巨涨落”，从而导致系统发生突变，形成一种新的稳定有序状态。在这里，涨落对耗散结构的形成起了一个触发和激化的作用，即偶然的随机涨落为耗散结构的形成提供了良好的契机。

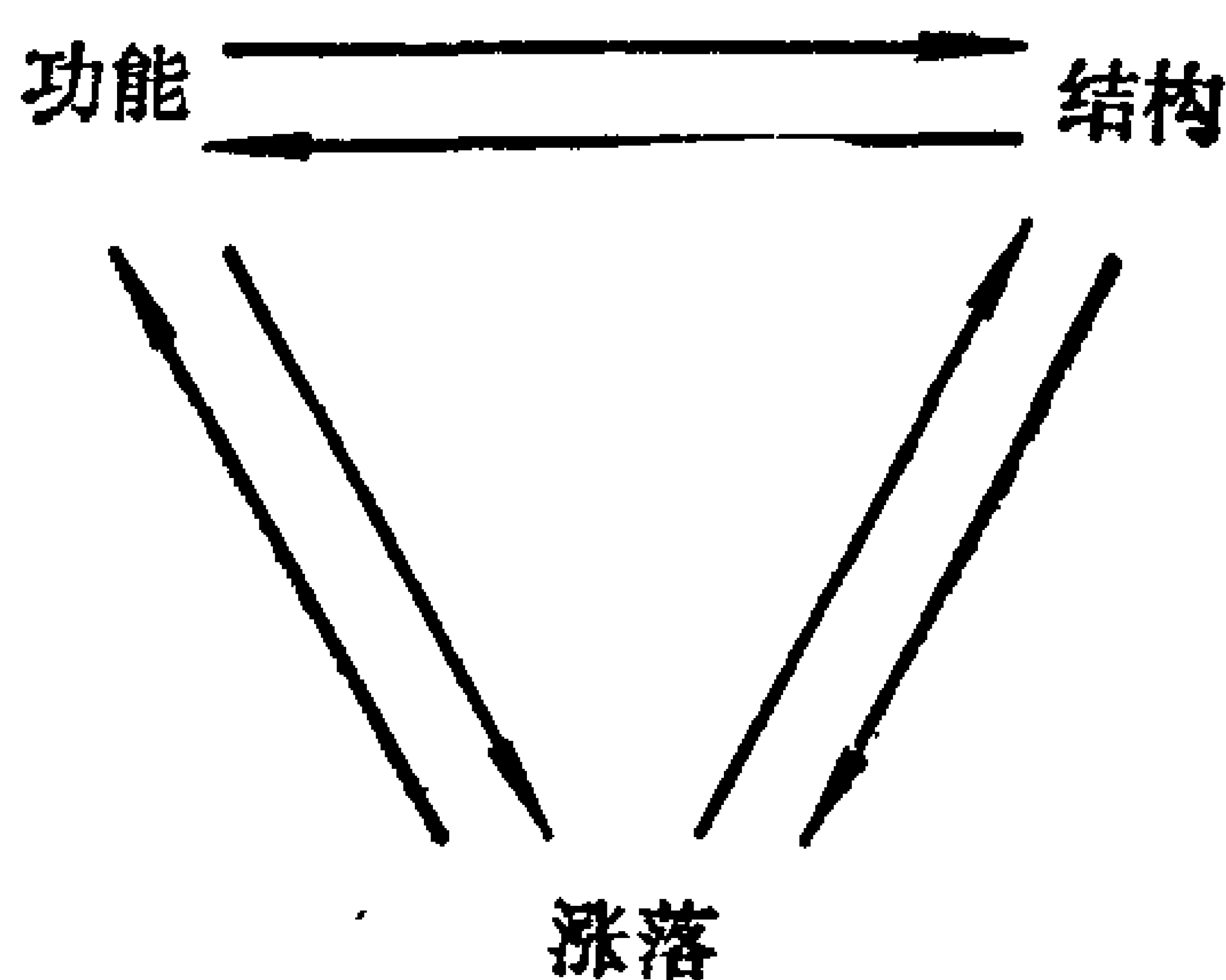


图 13—1

普利高津用图13—1来描述了系统的功能、结构和涨落之间存在的关系。在这里“结构”是指时间或空间结构，即失稳引起的振荡和波，“功能”指的是化学机制或生物活性，“涨落”在结构和功能中起中间作用，是随机的，将触发失稳现象，功能与结构之间，则存在确定性关系。普利高津认为，涨落可能引起功能的局部改变，如果缺乏适宜的调节机制，这种局部改变会引起整个宏观结构的改变，反过来，这又决定未来涨落的范围。所以，普利高津说：“功能、结构、涨落之间的相互作用，是理解社会结构和进化的基础。”①

普利高津在研究涨落与进化的过程时，还充分应用了分支数学理论和随机数学理论。这是由于涨落，导致在远离平衡处出现的耗散结构，存在一系列多级的分支点。在离开平衡态的第一分支点上，导致轴对称；当系统被驱使更加远离

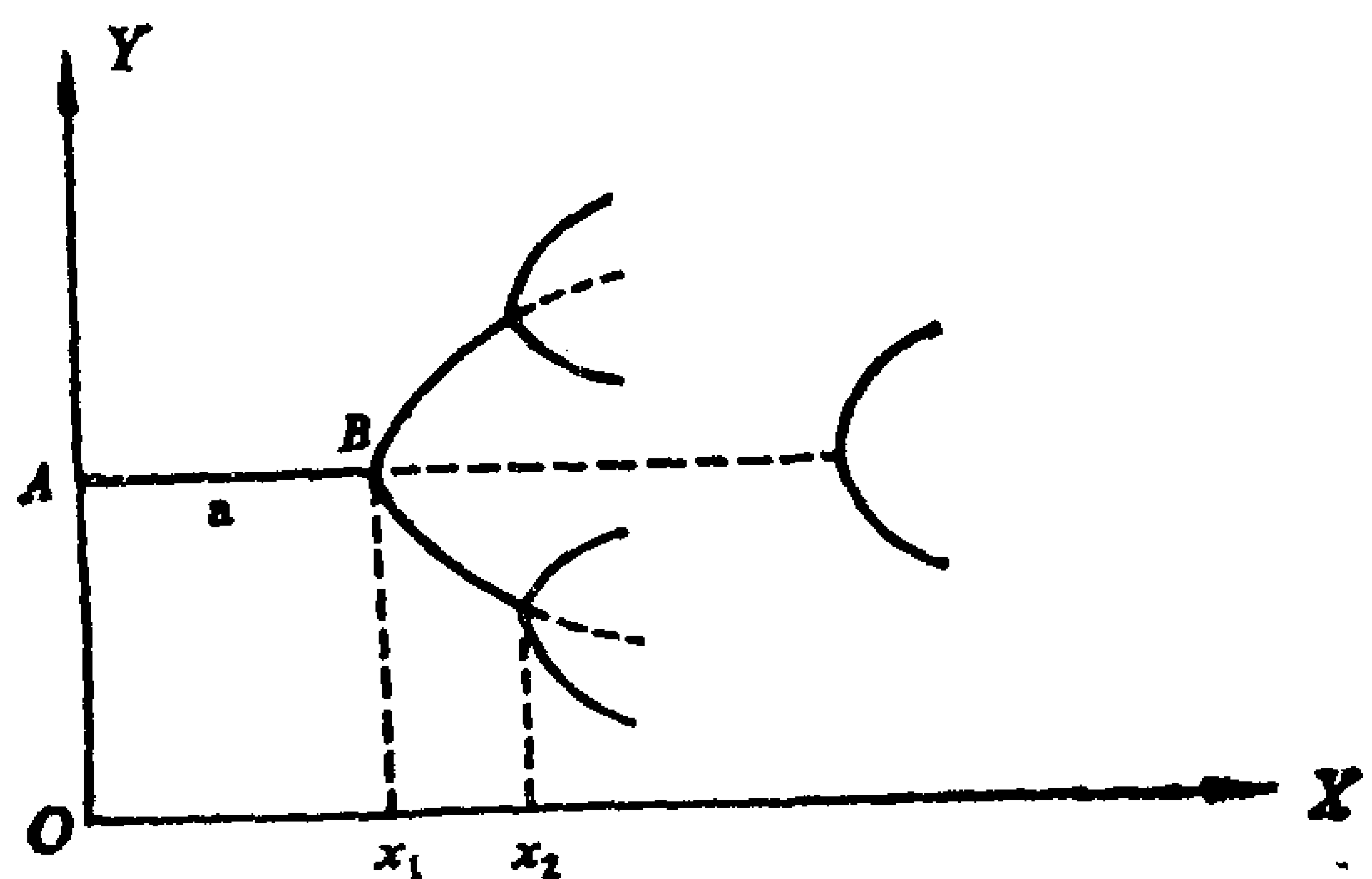


图 13—2

①I·普利高津：《复杂性的进化和自然界的定律》，《自然科学哲学问题》，1980年第3期。

平衡态时，一个解可以分支成几个可能的解；当进一步远离平衡态时，每一个分支仍可以再进行分支。这种过程可用如图13—2所示的多级分支图来表示。图中Y为系统的某一特征量，例如可以是化学反应系统中某一成分的浓度；X为某一物理量，例如是控制化学反应的一个参量。从图中可以看出，在分支点x_1之前，系统处于近平衡的状态，与平衡态相象。在分支点之后，出现新的结构，而在分支点附近，系统有几种状态可供选择，究竟哪一种状态成为现实，则完全依赖于涨落和控制参量的改变方式。在这里，确定性的宏观描述已不起作用，统计的描述显示出了它的威力。

由上述可见，普利高津提出"涨落导致有序"的论断，突出地强调了在非平衡系统具备了形成耗散结构的条件后，涨落对实现这种结构所起的决定作用。

三、耗散结构论在现代管理中的应用

耗散结构论是综合性理论，具有普遍科学方法的性质，是科学、技术、管理、社会经济等领域用以解决一系列综合问题的方法论工具。耗散结构论所涉及的范围之广，在科学史上是罕见的。因为它所研究的对象是开放系统，而客观世界的各种系统（无论是有生命的，还是无生命的），实际上都是与周围环境有着相互依存和相互作用的开放系统，绝对的孤立系统客观上是不存在的。耗散结构论所研究的关于复杂系统的非平衡、非线性、涨落、突变等方面的现象和规律，是各门不同学科的共同现象和规律，为各门学科所通用。无论是物理、化学、生物、地学、天文、环境、医学、农学、

工程技术，还是社会、经济、文化、历史、管理等领域，都可以应用它的研究成果。因此，这一理论的建立虽然还不到20年的时间，却在许多领域得到了广泛的应用，并取得了一定的成果。尤其是在探讨自然现象中所获得的成功，促使人们把它的应用范围扩大到了社会、经济、管理等各个领域，探索在更广阔的领域应用耗散结构论的一般原理和方法，具体地来分析解决一些实际的社会、经济、管理问题。下面仅就耗散结构论在现代管理方面的应用作初步探讨。

（一）现代管理系统必须是开放系统

耗散结构论告诉人们，任何系统要想求得发展，从无序发展为有序，或从低级的有序发展为更高级的有序，都必须首先使系统开放。开放是系统有序化的前提，是耗散结构得以形成、维持和发展的首要条件。现代管理是在高度发达的现代社会条件下，充分运用现代科学技术所进行的复杂管理活动，因此，现代管理系统本质就是开放的。现代管理系统开放的程度如何，直接决定着管理效能的大小。关于这一点，无论是从理论上还是从实践上，都是不容置疑的。这是因为，现代管理时刻离不开它赖以生存和发展的现代社会和现代科学发展的大环境，它要通过充分的开放，不断地与外界交换物质、能量和信息，不断地吸收先进的管理思想、管理方法、管理手段和管理人才，以求得自身的生存和发展。现代工业、企业管理，还要面对国内外市场，不断地注视着瞬息万变的市场行情，不断地进行设备更新，产品换代，随时准备迎接来自各方面的竞争和挑战。正是在这种开放、交流、竞争和挑战中，获得生存和发展的勃勃生机。如果把一个现代管理系统孤立或者封闭起来，它就失去了生存和发展的最基本的条

件，系统将很快趋于混乱和僵化，变成一个“死”的系统。无数事实证明，无论是一个国家、一个民族、还是一个社会系统或管理系统，长期的封闭状态和与世隔绝，其结果只能是信息闭塞、知识贫乏、思想僵化、文化落后、经济衰退，只能是愚昧和贫穷。封闭的管理系统将始终跳不出其固有的僵化模式，往往是陷入一种低水平的恶性循环不能自拔，这恰恰是系统混沌无序的表现。所以，搞现代管理如果不实行开放，现代管理也就变成了空谈。当今世界，没有任何一个国家可以封闭起来搞现代化。现代管理不仅要开放，而且还要充分地开放，与外界交往越广，交流越多，信息沟通越灵，产品交换越快，越具有生存和发展的活力，越能在强手如林的现代商品经济环境中立于不败之地。党的十一届三中全会以后，对外开放已被确立为我国一项长期的不可动摇的基本国策，这就为我们搞好现代管理提供了政策上的保证。

现代管理系统的开放，包括对外开放和对内开放两方面的内容。前者是指整个管理系统对外部环境的开放，后者是指系统内部各子系统，以及各要素之间的开放。对外开放的目的，是使管理系统置身于现代国内和国际社会发展的大环境中，促进系统与外界进行人、财、物、信息、技术等方面的交流。通过开放，发展贸易，出口产品，换取外汇，吸收和引进外资、技术、设备，吸取当代人类文明中的优秀成果，来充实和丰富自己，发展和完善自己。通过开放，进行比较和鉴别，在比较和鉴别中，找出差距，选准目标，面向未来，获得发展。比较和鉴别，能使人产生一种时代的危机感和紧迫感，产生虚心向别人学习的愿望和动力。这种学习，不仅包括向社会主义国家学习先进的现代管理经验和技术，而且包括向西方资本主义国家和资本主义社会学习一切

对人类有益的东西。努力做到博采众长，为我所用。甚至象列宁在十月革命胜利后所设想的那样："苏维埃政权＋普鲁士的铁路秩序＋美国的技术和托拉斯组织＋美国的国民教育等等等等＋＋＝总和＝社会主义。"①只有这样，才能在对外开放中不断获得现代管理所需要的丰富的物质、能量和信息，真正实现管理的现代化。对内开放的目的，是加强管理系统内部各部门、各要素间的相互沟通和联系，保持系统内部各种信息渠道的畅通，以利于互相协调、互相学习、互相促进、互相竞争，增强管理系统的内部活力，实现对内搞活。无论是对外开放或是对内搞活，意义都是十分广泛的，它包含有全方位、大纵深、全面实行开放的深刻含义。

在现代管理系统开放的过程中，特别要注意吸收负熵流，排除正熵流。负熵流是指那些对搞好现代管理有益的东西，包括西方一些先进的理论、经验和技术。正熵流是指那些对搞好现代管理起干扰和破坏作用的东西，例如资本主义腐朽思想的侵袭等。负熵流的大量吸收，会促使系统向有序发展，而且这种负熵流吸收得越多、越快，系统趋向有序化的程度也就越大、越快。正熵流的吸入，会增大系统的混沌无序程度，正熵流吸入得越多，系统的无序程度越大。因此，作为一个清醒的现代管理者，随着系统的充分开放，对于潮水般涌来的大量的外界的东西，必须善于去伪存真，去其糟粕，取其精华，批判地吸收，批判地运用。否则，就难以达到人们所期望的开放效果。

① 《列宁论苏维埃俄国社会主义经济建设》第96页。

（二）现代管理系统必须通过非平衡达到动态平衡

普利高津在耗散结构论中关于“非平衡是有序之源”的科学论断，为我们在现代管理中处理平衡与非平衡的问题提供了科学的论证和正确的方法。根据这一原理，一个具有内动力和充满活力的现代管理系统，必定是一个有差异的、非均匀的、非平衡的管理系统。因为在平衡态下，系统内部混乱度最大，无序性最高，组织最简单，信息量最小。而且，系统一旦进入这种“死”结构的平衡态，便维持这种状态不变，很难取得前进和发展。这种从表面上看来的平衡，实际上会对现代管理起到极大的阻碍作用和窒息作用，使管理系统变得死气沉沉，没有差异，缺乏竞争，陷入一种低功率、低效益的局面。这是现代管理之大忌。所以，“活”的动态的平衡是现代管理系统机制完善的根本标志，是现代管理者力求达到的目标。例如，在我国管理中长期存在的管理体制上的几十年一贯制，分配制度上的“平均主义”、“大锅饭”，干部队伍的“终身制”等，这些从表面上看来的稳定和平衡，实质上正是束缚我国管理向前发展的桎梏，是管理落后的具体表现。所以，改变我国这种管理落后的局面已迫在眉睫。

怎样使管理系统摆脱僵化的平衡态模式进入非平衡态或远离平衡态，最后达到动态平衡形成耗散结构呢？根据我国的情况，根本的途径就是通过改革开放，坚决打破旧的平衡状况，积极创造促使系统发展演化的新的非平衡环境，通过不断地革新、发展、完善，努力实现动态平衡，形成较高级有序的耗散结构。为此，应从以下几个方面入手：

一是要更新观念。要打破人们旧的传统观念，克服那种

长期残存在人们头脑中的封建意识和小农经济意识，摆脱心理上存在的各种“稳态症”，增强社会主义商品经济观念、价值观念、时间观念、信息观念等，从思想观念上尽快适应现代社会政治、经济、科技、文化迅猛发展的大趋势。

二是要提倡竞争。要打破所谓的各种表面上的平衡，提倡创新，大胆引入竞争机制，强化人们的创新意识和竞争意识。通过竞争，把僵化的、凝固不变的旧机制改变为灵活的、动态的、可变的、适应社会主义商品经济发展的新机制。通过竞争，搬掉干部制度的“铁交椅”，打破劳动制度的“铁饭碗”，改变分配制度的“铁工资”。这样，人们的积极性、创造性才能充分调动起来，大批优秀的人才才能脱颖而出，企业才具有旺盛的活力。

三是要强调面向世界。我们搞社会主义现代化，一定要面向世界，面向未来。眼界要开阔，目标要远大，明白自己的差距，选准奋斗的目标，使人们在精神上和心理上经常保持一种紧迫感和危机感。作为领导者或管理者，要特别善于把这种紧迫感和危机感引导和转化为单位和企业的文化精神及群体意识，使单位和企业保持永久的发动力和凝聚力。

总之，要使现代管理系统达到人们所理想的耗散结构状态，必须通过改革开放，改革旧的管理体制和制度，建立新的管理体制和制度。新的体制和制度应该充分体现非平衡机制。只有这样，现代管理系统才有可能走向高度有序，进入高效率、高效益的良性循环轨道。

（三）现代管理系统必须通过非线性机制的调节获得自我完善

开放和非平衡为现代管理系统朝着高度有序的耗散结构

发展提供了必要和充分的条件及势能，但系统要达到高度有序，还必须通过系统内部非线性相互作用产生的自组织效应来完成，即通过系统内部非线性机制的调节获得自我完善。因为现代管理系统大多是具有一定规模的复杂系统，系统内部不仅要素众多，而且要素之间相互制约，彼此联系，关系错综复杂，这种关系一般都是非线性的。这种非线性关系不仅决定了系统演化过程的复杂性、多变性，而且还决定了系统发展的方向具有多种可能性和选择性。因此，在非平衡状态下，在热力学分支失稳的基础上，使管理系统从无序向有序发展，并使系统重新稳定到新的耗散结构分支上的使命，必然由非线性相互作用来完成。所以，通过非线性机制调节，使管理系统获得完善、稳定和发展，是现代管理的一项十分复杂和艰巨的任务，也是一门较高的管理艺术。

现代管理系统非线性机制的调节，可以从多方面进行。主要有：

一是在决策和计划上下功夫，注意宏观调节。决策、计划要做到统筹规划，合理运筹，科学决策。要通过系统分析的方法，运用系统工程技术，从多种非线性关系和约束条件中求得最优解。努力做到资源分配的合理，目标制定的可行，各种比例关系协调，各种因素考虑和照顾周到。

二是在协调控制上做文章，注意执行过程调节。在现代管理中，决策和计划这种宏观上的调节固然重要，起着龙头的作用，但在没有实施和没有经过检验之前，它仍然只是一种理想和预测，带有很大程度的不确定性、未来性和不完备性。要使这种决策真正付诸实施和得到落实，还得靠管理执行过程中针对各种不同情况随时进行的调节来补充和进一步完善。所以，在管理执行过程中，有大量的艰苦细致的调节

工作要做。它包括人、财、物、信息等管理要素的优化组合，各部门、各专业之间的协调配合，各种随机干扰因素的排除，根据各种反馈信息适时进行的调节控制等。通过这些调节工作，使管理系统按照既定的目标运行。

三是在理顺关系上挖潜力，注意系统内部深层调节。如果说以上管理过程中的调节是治表的话，则这种系统内部深层的调节就是治本。它要从系统内各种潜在的关系和矛盾中，找到正确处理这些关系和矛盾的方法措施，以便在系统内形成一种互相制约、互相促进、互相竞争、彼此协调的、充满生机和活力的生动活泼的局面。例如，调整生产关系，改革分配制度，促进人才交流，提倡企业精神，加强思想政治工作，提高职工素质，改善职工生活等。把这些关系都理顺了，系统的机制就会得到完善，系统的功能就会增强。

总之，调节关系是手段，自我完善是目的。因此，在实际管理中，要不断探索使系统自我发展、自我完善的调节方式。

（四）现代管理系统必须通过改革的涨落求得新的发展

普利高津关于“涨落导致有序”的观点，突出地强调了在非平衡系统具备了形成有序结构的客观条件后，涨落对实现某种序所起的决定作用。应用这一观点来分析现代管理系统，可以得到很多有益的重要启示。

首先，管理系统也存在着涨落现象。与自然系统一样，现代管理系统也由大量的子系统组成，众多子系统运动状态的不断改变，使得整个系统的状态也不断改变，因此，必然也存在着涨落现象。例如，一条重要信息的获得，一项技术革新的成功，一种拳头产品的推出，一个决策的失误，一次

机遇的丧失等，都会对管理系统的发展前景起我其要的影响作用，甚至成为企业盛衰的关键点和转折点。所以，涨落对提高现代管理的有序度是至关重要的。

其次，要正确掌握涨落的客观规律。在现代管理中，要善于掌握涨落的规律，并善于利用这种规律来达到现代管理的目的。在系统处于发生质量转变的临界点之前，要积极创造条件，通过改革、开放等，促使和扩大某种涨落，增大正反馈，减弱负反馈，有意识地促使系统发生暂时的失稳，为打破旧的体制和结构，建立新的秩序创造条件和时机。例如，刺激竞争，鼓励“冒尖”，提倡在市场竞争中出其不意等。当系统处在关键的转折点、临界点时，要沉着冷静，把握时机，因势利导，及时控制参量的变化，使系统通过涨落向着管理者所希望的分支跃迁，朝着机制完善的方向发展。管理系统在实现这种由量变到质变的转变之后，还要注意做好善后工作，通过非线性机制的调节和自组织效应，达到稳定有序。

再次，要注意涨落过程中的复杂情况。对于改革开放而引起涨落的过程中出现的许多复杂情况，包括系统暂时的失稳，各种比例关系的失调等，要密切注视，正确认识，认真对待，恰当处理。思想上和心理上要有对改革所引起的“阵痛”的准备，行动上要有得力的措施，以防止出现大的失控。“沉舟侧畔千帆过，病树前头万木春”。通过改革的涨落求得系统新的发展，这是耗散结构论对现代管理者的一条重要启示。

第十四章　协同论

一、协同论的产生

协同论也称协同学，是继耗散结构论之后产生的又一重要的关于非平衡系统的自组织理论。协同论的创始人是联邦德国著名物理学家赫尔曼·哈肯（Hermann Haken）教授。他于1969年在斯图加特大学讲课时开始使用协同学的概念。1977年出版了《协同学导论》一书，建立了协同学的理论框架，标志着这一新理论的诞生。1983年又发表了《高等协同学》，形成了较完整的理论体系。哈肯所领导的联邦德国斯图加特理论物理研究所是协同论的研究中心，美、日、英、中国等多国学者都参加了这一理论的研究。目前，协同论已成为世界上非平衡统计物理学的一个主要学派，在国际上颇有影响。

协同论最初来源于对激光现象的研究。哈肯在60年代研究激光系统过程中发现，激光是一种典型的远离平衡态时的由无序转化为有序的现象。一个固体激光器，在外界输入的泵浦能量较低时，激光棒中的激活原子彼此独立地发出一系列不相干的光波，这时的激光器就象一只普通的灯，发出相位和方向都是无规则的自然光。当泵浦功率增大到某一特定的阈值时，就会出现全新现象，激光器发出了相位和方向都整

齐一致的单色光——激光。哈肯吸取了现代科学理论的成果，对激光的形成过程进行了统计学和动力学两方面的考查和分析，建立了一套成功的激光理论。他认为，激光的产生是由千千万万个小原子在原子布居反转的非平衡条件下，由受激辐射相互协同、组织的结果，从而得出了协同作用的重要概念。

哈肯从对激光这种无序到有序转变现象的研究中得到启示，促使他考虑在不同系统中是否存在类似的现象。他和他的同事们，从激光理论出发，通过对超导流动性、流体动力学的贝纳不稳定性和台劳不稳定性，以及天体物理学、化学、生物学、生态学、电气及机械工程、社会学、经济学等学科中一些典型现象的类比分析，发现在其他许多领域中也存在惊人的类似现象。

例如，在生物学中由生存竞争造成的野兔数和其天敌山猫数，随时间的变化而发生的周期性的“时间振荡”，就是这样一个类似的过程。在一个由野兔和山猫构成的生态系统中，野兔依靠植物生活，山猫依靠捕食野兔生活，山猫和野兔就构成了捕食者与被捕食者这样一个系统。当山猫太多时，野兔大批被吃掉，因而野兔就大量减少。由于野兔减少，山猫的食物就减少了，所以山猫也就跟着减少。这样一来就使得野兔的数目有机会得到增加，从而使山猫的食物供应得以改善，造成山猫数目再一次增加。这样野兔和山猫的数量就随着时间的变化产生一个有序的周期性振荡，如图14—1所示。图中n_1为野兔数量，n_2为山猫数量。

哈肯通过对许多类似现象的研究，概括和总结出这些现象共同的特点和所遵循的共同规律。他指出，一个由大量子系统构成的复杂系统，各子系统之间既存在着相互作用和影

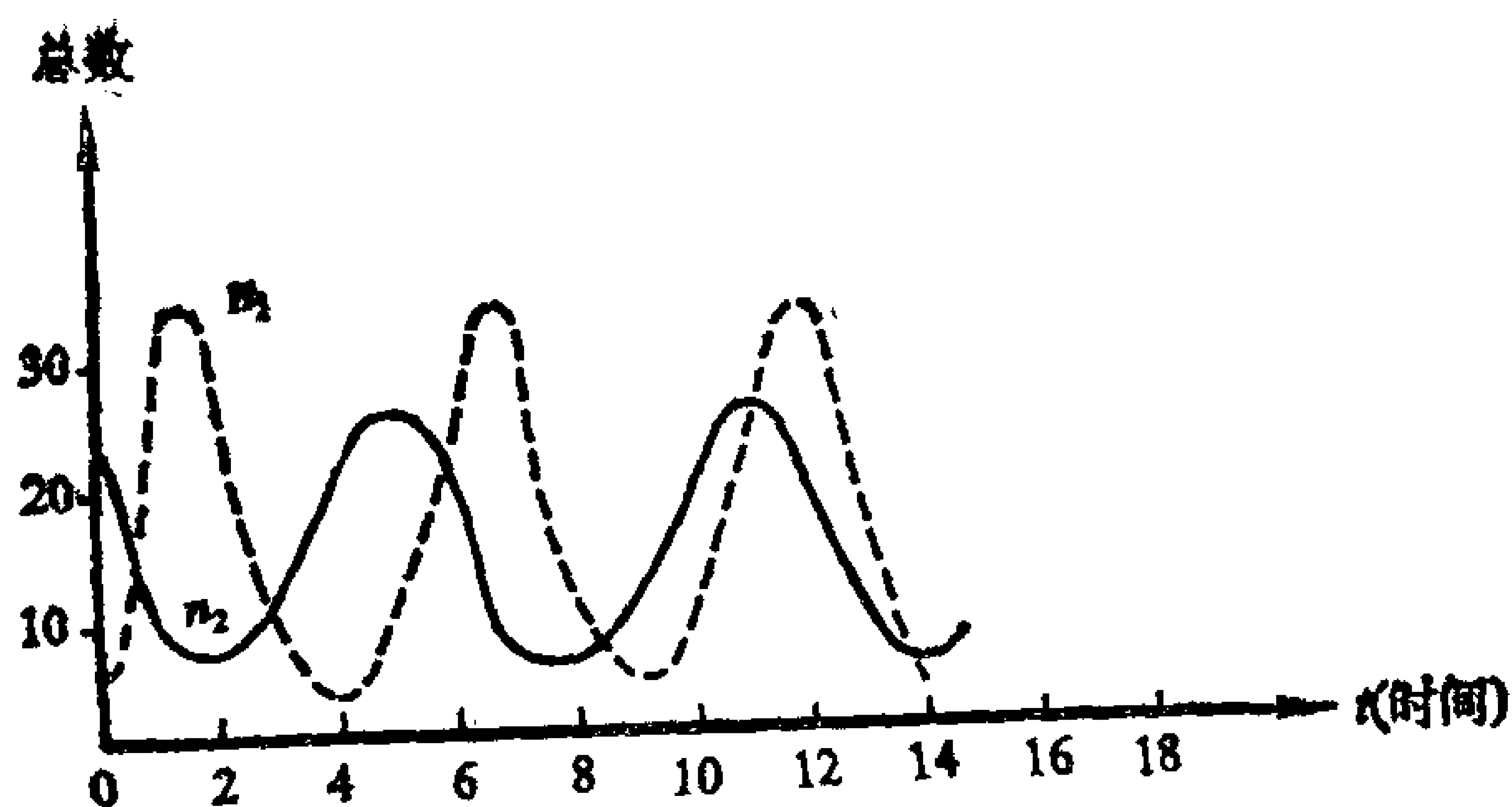
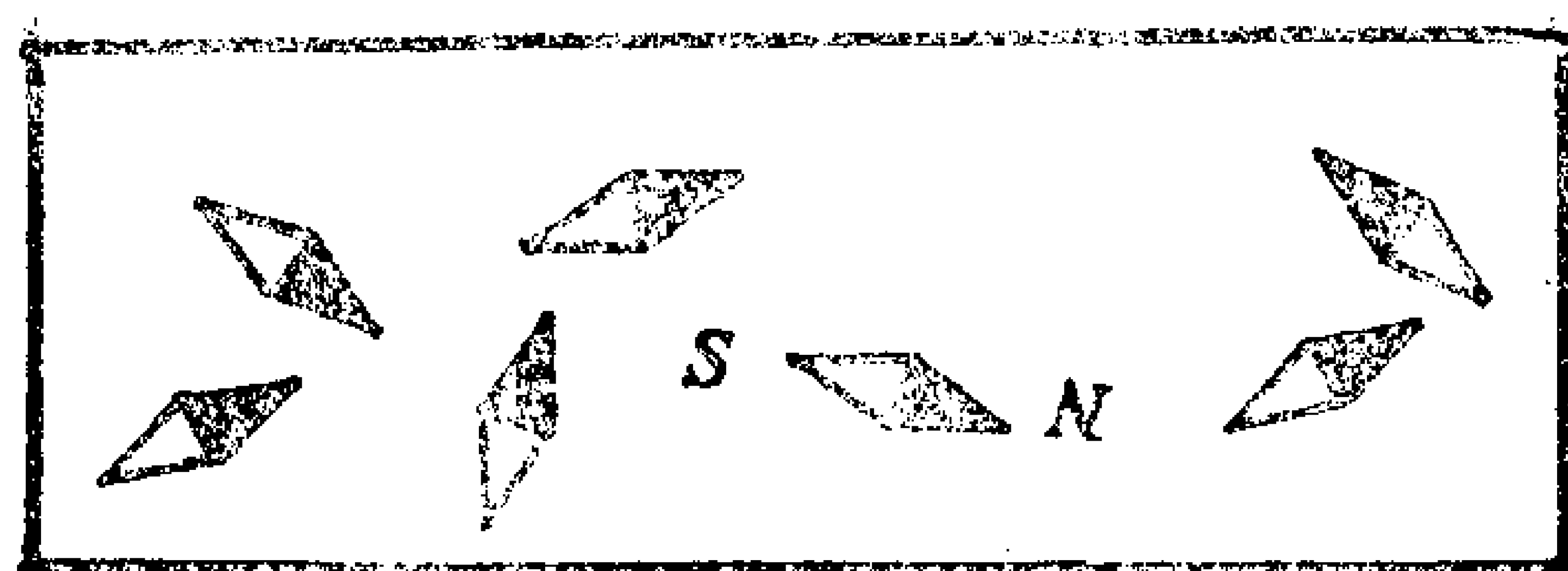


图 14—1　野兔与山猫数量的周期性振荡

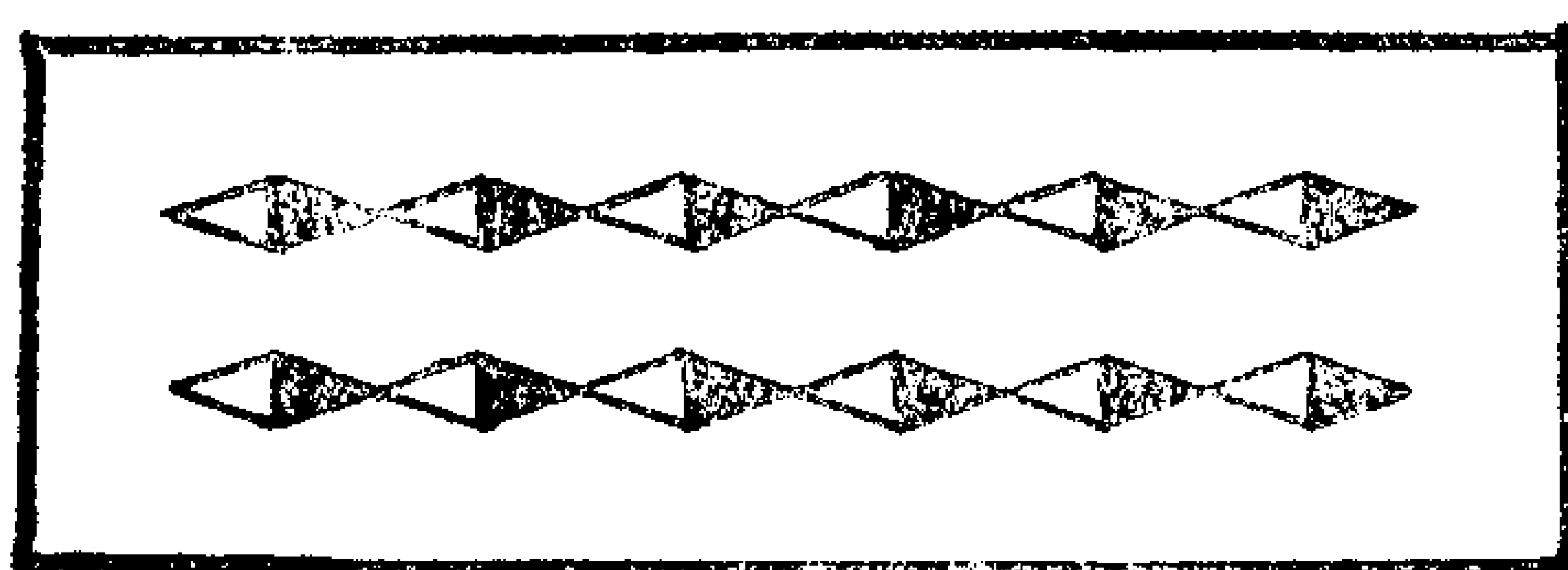
响，又存在着相互制约和协作，在一定条件下，由于这种相互作用和协作，系统就会形成具有一定功能的自组织结构，在宏观上产生时间结构、空间结构或使时——空结构达到新的有序状态，这就是非平衡系统中的自组织现象。由此，奠定了协同论的基础。

以上研究的是远离平衡态的开放系统从无序到有序的现象 。哈肯通过研究还发现，不仅在这种远离平衡态的开放系统中，就是在热力学平衡系统中也存在着类似的转化过程。例如，磁铁有序结构的形成。一块磁铁，从微观上看，是由许多小磁体组成的。在高温状态下，磁铁中的各个小磁体的指向是不规则的、杂乱的，如图14—2（*a*)所示。在这种情况下，大量小磁体的磁矩相加时就相互抵消，所以整个磁铁在宏观上不呈现磁性。但是，当磁铁的温度降低到临界温度之下，小磁体就整齐地排列起来，大量小磁体的磁矩相加时，显然不会相互抵消，结果在宏观上呈现出磁性来。如图14—2（*b*)所示。

类似的从平衡态转为有序结构的例子还有很多。例如，



(*a*)



(*b*)

图 14—2

一定容器中的水蒸汽分子，随着温度的降低由汽态变为液态，再由液态变为固态——结成冰。超导体在温度低于临界温度 18.2°*K* 时，即呈现超导现象等。因此，哈肯进一步指出，一个系统从无序向有序转化的关键并不在于热力学平衡还是非平衡，也不在于离平衡态有多远，而在于只要是一个由大量子系统构成的系统，在一定条件下通过子系统间的非线性相互作用，就能够产生相干效应和协同效应，形成一定功能的自组织结构，表现出新的有序状态。所以，在一定条件下，处于非平衡状态的开放系统能够从无序转变为稳定有序结构；处于热力学平衡态的开放系统，同样能够由无序状态转变为有序结构。这两种转化都遵循着共同的协同原理。他认为，非平衡相变与平衡相变存在着深刻的相似，这

种相似恰恰表明了非平衡相变是平衡相变的开拓和发展，而平衡相变则是它的特殊情况。至此，哈肯打破了平衡与非平衡之间的隔墙，从而把关于非平衡系统的自组织理论向前推进了一大步。

1979年前后，哈肯等人进一步研究了从有序转化为无序的现象，认识到一个非平衡的开放系统，不仅可以通过突变从无序到有序，而且还可以经过突变重新从有序转入无序状态。例如，水绕过圆柱体障碍物流动，当流速不大时，流线的图形与圆柱体相似；当流速增大到某一阈值时，圆柱体后形成一对旋涡，这是一种有序结构；当流速继续增大到一个新的阈值时，旋涡处于动态振荡中，最后形成湍流，进入混沌无序状态。哈肯对从有序到混沌的发现与研究，使协同论进入了一个新的阶段，从而将有序与无序统一起来。

从以上可以看出，哈肯在创立协同论的过程中，不仅善于吸收当代科学的最新成果和经验，而且善于独辟蹊径，其中有许多科学方法论的思考和应用都体现了他研究和分析问题的独到之处。他以研究完全不同的学科间存在着的共同特征为目的，以信息论、控制论、突变论等一些现代最先进的理论为基础，采用了普适性很强的统计学和动力学考查相结合的方法，立足于对大量自组织系统演化规律的具体分析，通过类比，概括和揭示出所有系统的普遍演化规律。虽然他和耗散结构论的创立者普利高津一样，都是从系统内部的非平衡寻找有序形成的根据，但是，在对系统演化规律研究的具体程度、普遍程度、适用和应用范围，以及理论推导的严密程度上，协同论较之耗散结构论毕竟迈出了更大的步伐，因而也具有更加普遍和深刻的哲学意义。这不仅表现在他依赖于系统稳定性理论，抓住系统稳定性理论的本质问题，即不稳定

的无序状态必定随时间自发向稳定而有序状态演化的客观规律，把研究和适用领域从远离平衡态的开放系统扩展到近平衡态和平衡态系统，从而突破了耗散结构论的适用领域，在解决系统从无序到有序的问题方面，比耗散结构论又有了新的发展；而且还表现在，协同论既研究系统从无序到有序的演化规律，又研究系统从有序到混沌的演化规律，指出了有序与无序既互相对立，又互相转化的辩证的对立统一关系，从而首次真正地将有序与无序统一起来。协同论的产生，大大丰富和发展了耗散结构论的研究成果，把非平衡系统的自组织理论推向了一个新的阶段。

协同论是一门横断科学和边缘科学，它横跨自然科学和社会科学，涉及许多门学科。由于它适用性较强，应用范围较广，所以自产生以来，得以广泛传播和迅速发展，日益显示出它普遍的意义。目前，协同论不仅是系统科学的基础理论之一，而且也是现代最新科学理论之一。它同耗散结构论、突变论一起，被誉为现代科学方法论中最为引人瞩目的三颗新星。

二、协同论的基本内容

协同论是一种研究各种不同系统在一定外部条件下，系统内部各子系统之间通过非线性相互作用产生协同效应，使系统从混沌无序状态向有序状态，从低级有序向高级有序以及从有序又转化为混沌的机理和共同规律的理论。在这一理论中，哈肯深刻地揭示和阐明了一系列严密而复杂的基本原理。

（一）协同效应原理

协同或称协作，即协同作用的意思。协同效应是指在复杂大系统内，各子系统的协同行为产生出的超越各要素自身的单独作用，从而形成整个系统的统一作用和联合作用。协同效应原理就是用复杂系统内各子系统间的相互作用，来说明系统自组织现象的观点、原则和方法。这一原理指出，系统的有序性是由诸要素的协同作用形成的，协同作用是任何复杂系统本身所固有的自组织能力，是形成系统有序结构的内部作用力。"协同导致有序"是这一基本原理的高度概括。哈肯认为，各种复杂系统都是分别由大量的诸如电子、原子、分子、光子、细胞、植物、动物和人以及各种社会成分等子系统组成的。任何一个含有大量子系统的复杂系统，在与外界环境有物质、能量、信息交换的开放条件下，通过各子系统之间非线性的相互作用，就能产生各子系统相互默契合作的协同现象和相干效应，使系统能够自动地在宏观上产生空间、时间或功能的有序结构，出现新的稳定状态。系统的这种自组织现象，只能在含有大量子系统的复杂系统中才能表现出来。因为只有大量子系统之间才存在着十分复杂的联系，才能产生出系统整体的有序运动。哈肯还强调，系统有序结构的出现，关键并不在于系统是否处于非平衡态，也不在于是否远离平衡态，而恰恰在于子系统间的协同作用是任何复杂系统本身所固有的自组织能力。所以，无论什么系统从无序向有序的演化，也不管平衡相变还是非平衡相变，在协同效应原理看来，都是大量子系统相互作用而又协调一致的结果。协同导致有序，任何系统有序结构的形成无不如此。哈肯通过对大量复杂系统的考查和研究，使这一原理在自然界

和人类社会得到了广泛的确证。

例如，贝纳德对流，如图14—3（a）所示。一层流体（水），上下各与一很大的恒温热源板接触，上面为一透明板，温度为T_B，下面为加热板，温度为T_A。当$T_A = T_B$时，水处于平衡态。当$T_A > T_B$时，水处于非平衡态。当T_A与T_B之差ΔT达到临界温度时，突然出现水的宏观整体运动。这种运动从侧面看，则如同“蛋卷”，且两相邻水花的旋转方向

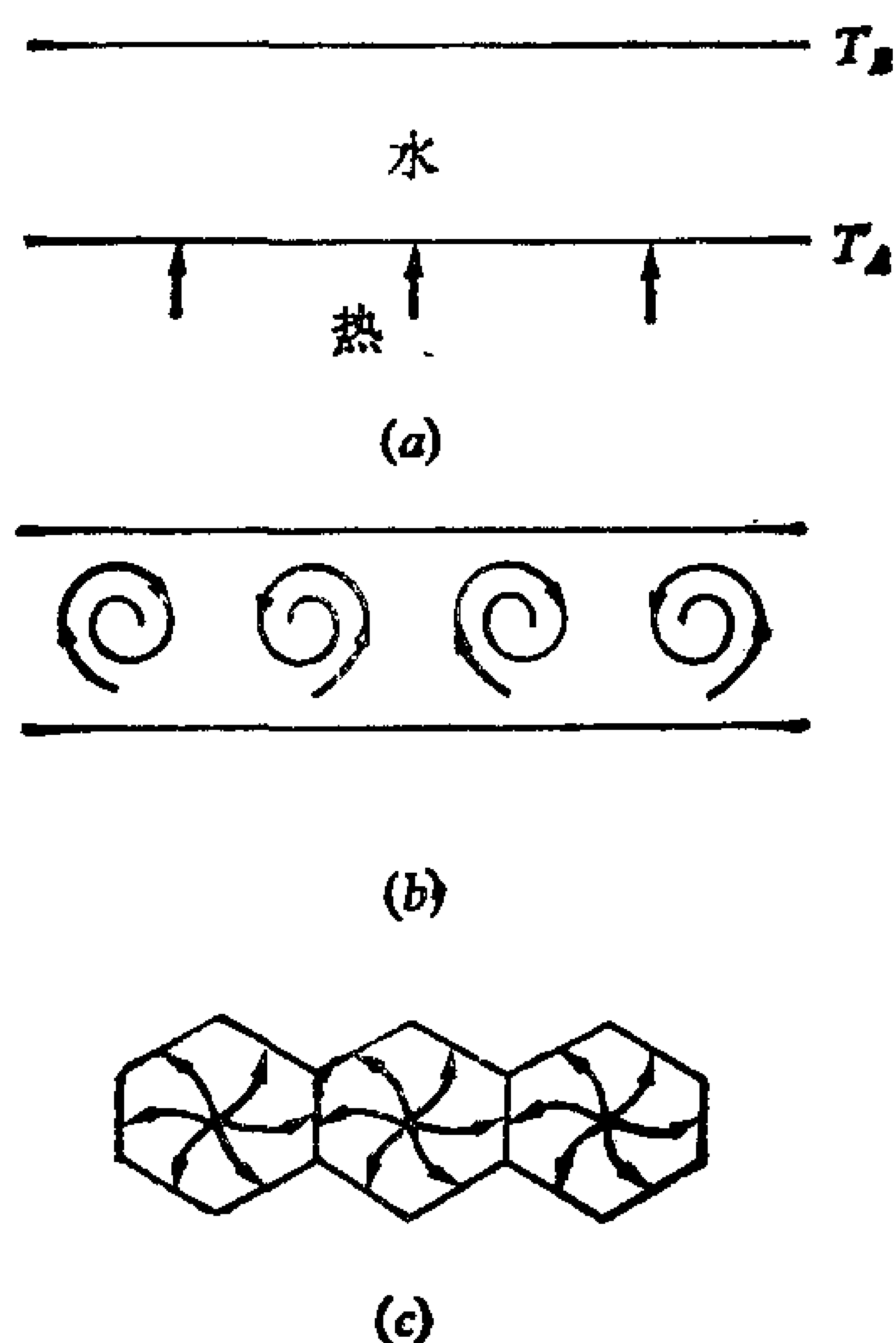


图 14—3

相反，如图 14—3（b）所示。若从上面的透明板观察，则出现许多规则的正六角形对流格子，水从六角形的格子中心流出，沿六边流下，如图 14—3（c）所示。这种现象就是著名的贝纳德对流或贝纳德水花。哈肯在分析贝纳德对流形成的机理时指出，在下方的温度高于上方的温度ΔT时，下方

水的密度比上方小，水中的流块不时地进行起伏运动。在ΔT未达到临界值时，在下方流块得到起伏动能而上升中，水的粘滞力消耗了流块的功能，且在这一过程中流块向周围温度较低的水传热，使对流不能形成。而在ΔT达到临界值时，偶尔上升到较冷环境中的流块受的浮力就足以克服水的粘滞力，而上升到水的上表面。由于这种上升流块的带动，为下方流块的上升创造了有利的条件，下方流块即可接着上升而形成对流。由此可以看出，贝纳德对流这种有序结构的形成，完全是分子间和流块间相互作用的结果。流块在这里即系统块，它是由少数分子间的吸引作用形成的分子小集团，是复杂系统的子系统。流块间的相互作用力，是由水分子间的阿基米德力、粘滞力等共同作用所致。

不仅在贝纳德对流中有着协同导致功能有序的过程，在各种各样的生物系统、社会系统等领域中，同样存在着这种现象。例如，在生物系统中，人体内各个细胞的协作导致一个器官的结构和功能的有序，而各个器官的协作则导致整个人体的时空有序，否则就会发生功能紊乱而致病甚至死亡。所谓"生物钟"这种很有节奏的韵律现象，正是在生命活体中通过代谢给它供应能量，当所供应的能量超过某一阈值时，便出现了有序的相干振荡，即出现了长程的位相相关，使之具有极其惊人的有序性和极高的效率。在社会系统中，各个社会细胞之间协同合作，才能导致社会的有序演化，否则，社会就会发生混乱，人们的正常生活就不能得到保障。而且，社会的现代化程度越高，这种协作越复杂，对协作程度的要求也越高。

这些例子说明，"协同导致有序"是自然界和人类社会各类系统普遍存在的共同规律，协同效应原理是系统整体性原

理和相关性原理的深刻体现和佐证。系统中大量子系统的协同作用，使系统整体出现各子系统所没有的系统属性和功能，整体的属性不等于部分之和，部分在整体中的协同作用有着特别重要的意义。

（二）支配原理

支配原理又译作伺服原理或役使原理。这一原理指出，大量物理系统和非物理系统通过不稳定性可以自发形成空间结构、时间结构或时空结构。当这些系统接近不稳定点时，系统的动力学和突现结构通常由少数几个集体变量即所谓序参量决定，而系统其他变量的行为则由这些序参量（和随机力）规定。

序参量是用来表示系统宏观有序程度的量，它是相变热力学中的概念，被哈肯借助用来描述系统进化中从无序到有序的演化过程。序参量的大小标志着系统宏观有序的程度。当系统处于完全无规则的混沌态时，其序参量为零。随着外界条件的变化，序参量也在逐渐变化，当接近临界点时，序参量增大很快，最后在临界区域，序参量突变到最大值。在不同学科的不同系统中，序参量的物理意义不同。例如，在铁磁体的磁化过程中，总磁化强度是序参量；在化学反应中，浓度或粒子数是序参量；由激活原子和光场构成的激光系统，光场强度是序参量；在汽液临界点，序参量是液、汽两相的密度差，如此等等。

在系统演化过程中，序参量实际上就是慢驰豫变量。哈肯认为，在一个复杂系统的演化过程中，存在着无数参变量（一个复杂系统可以有成万上亿个），它们可以区分为快驰豫变量（快变量）和慢驰豫变量（慢变量）。快驰豫变量是

指在参变量中占大多数，在临界点附近受到的阻尼大、衰减快，对系统的状态转化不起明显作用的参变量。慢驰豫变量是指那些在参变量中占少数，在临界点附近出现无阻尼现象，并且衰减得很慢，对系统的状态转变起决定作用的参变量。

关于快驰豫变量与慢驰豫变量的关系问题，正是哈肯在支配原理中所要竭力阐明的问题。哈肯在支配原理中明确指出：快驰豫变量服从慢驰豫变量，或被慢驰豫变量所役使，整个系统的有序演化被为数很少（有时甚至只有一个）的慢驰豫变量的行为所决定，成为主导系统演化的序参量。例如，在激光中，光场是慢驰豫变量，而原子是快驰豫变量，光场支配原子中电子的运动。在社会学中，作为社会交往媒介的语言是慢驰豫变量，而每个社会个体一生的语言变化是快驰豫变量。一个小孩从生下来开始就必须学习语言，受社会语言环境的影响和支配。类似地，我们还可以把传统、文化、教育系统看成慢驰豫变量，而相应地把每个社会个体看成快驰豫变量、适应的量，后者受前者的影响和支配等等。

支配原理是绝热消去原理、慢流形定理和中心流形定理的总称。因为它们都是反映序参量支配子系统，子系统伺服于序参量而协同形成宏观结构的同一内容的，所以统称为支配原理。

绝热消去原理又称为绝热近似技术，它是用来消去迅速衰减的快驰豫变量，从而得到慢驰豫变量——序参量的方程的一种方法。当系统处于阈值时，有序结构形成的速度很快，外界对系统的影响可以忽略。在系统内部，阻尼很大，相对衰减很快的快驰豫变量对系统演化过程的性质并不起主导作用，系统演变的最终状态或结构将由慢驰豫变量决定，它驱使

着其他快驰豫变量的运动。采用这一方法，可以消去大量的快驰豫变量，得到只包含一个或几个参数的序参量方程。这不仅易于求解，而且深刻地反映出子系统之间的协同产生序参量，序参量又支配着子系统的运动，使系统出现整体的有序运动状态或结构的复杂内在关系。

哈肯在研究系统的演化序列时，又发展了绝热消去原理，提出了慢流形定理和中心流形定理。这两个定理都是针对系统在相空间的轨道而言的。慢流形相当于系统中的慢驰豫变量的轨道。若在相空间中存在快流形和慢流形，那么系统最终会稳定地运动到慢流形上。所谓中心流形定理，是指在该流形的轨道上，系统的行为属于中性，即对外界的扰动既不放大，也不缩小。该状态相当于处在指数增大和指数衰减之间的边缘状态，在这种情况下，系统会稳定在中心流形上。

支配原理的拓广和运用，不仅为寻求和确定序参量提供了普遍有效的方法，而且为建立序参量方程及其求解提供了科学简便的途径，为高等协同学用统一的数学语言来解决系统的演化序列奠定了理论基础。

描写开放系统有序状态的序参量方程，一般形式为非线性随机偏微分方程，可表示为：

$$\dot{q}=N\ (\alpha,\ q,\ \nabla,\ x,\ t)\ +F\ (t)$$

此方程叫序参量演化方程，它是协同论的基本方程或主方程。式中N是非线性的驱动力，F是涨落力，α是序参量，q是控制参量，对一个系统来说，它是由外界来控制的，因而又称为外参量，正是在外参量的影响下，系统才可能远离平衡态。∇表示微分算子，x表示空间向量，t表示时间。当赋于方程中的序参量各种不同的含义时，方程就可以用来描

述各种不同的非平衡现象。例如，当α表示速度、密度时，就可以处理流体力学中的各种有序现象；当α表示不同种类的分子浓度时，就可以描述化学反应；当α表示电场或磁场时，便可以描述激光现象或非线性等离子体现象。此外，α也可以表示生物学、社会学或者经济学中的有关参量，使方程广泛应用于自然科学和社会科学的各个不同领域。

（三）自组织原理

自组织原理是协同论的核心，它反映了复杂系统在演化过程中，如何通过内部诸要素的自行主动协同来达到宏观有序的客观规律。协同论正是在研究各类自组织现象所遵从的这种共同规律的基础上产生和发展起来的。这一原理指示，在一定的外部能量流或物质流输入的条件下，系统会通过大量子系统之间的协同作用，在自身涨落力的推动下，达到新的稳定，形成新的时间、空间或时空有序结构。系统演化的这种过程，称为自组织。所谓自组织，哈肯特别强调它是指系统在没有外部指令的条件下，其内部子系统之间能够按照某种规则自动形成一定的结构或功能，它具有内在性和自生性。正如哈肯在《协同学导论》中所举例说明的那样，在一个工人集体中，如果每个工人按照经理发出的外部指令以一定的方式活动时，那么我们就称它为组织，或更准确地讲，它有组织的功能。如果不存在给出的外部指令，工人们按照互相默契的某种规则，各尽其责地协调工作，那么这种与前面同样的过程，我们就称为自组织。这充分说明了自组织原理所阐明的，是开放系统中大量子系统集体的、自发的、自动的协同合作效应，它是系统自身内部矛盾运动的结果。

在这一原理中，哈肯分析了自组织可能发生的必要条件

和产生的途径。自组织可能发生的必要条件有两个：一个是系统必须是开放的，以保证外界能量、物质和信息的流入，这是自组织发生的外部条件；另一个是系统必须是包含大量子系统的宏观系统，且子系统间的相互作用是非线性的，这是自组织发生的内部条件。产生自组织的主要途径有这样几种：一是控制参量的变化引起自组织。当我们缓慢改变周围环境对系统的作用，即逐步改变系统的控制参量，在外界控制参量变化到一定的阈值时，系统会在临界点上发生质变，由旧质变为新质。在临界点上，外界对系统的作用只有量的变化，系统却通过自组织发生了质变。二是系统要素的质与量的变化引起自组织。它包括要素质的变化、要素数目的变化、要素运动量的变化，以及要素排列次序的变化引起的自组织。当一个系统的要素发生质变时，系统本身也要随之变化，在一定条件下就会出现自组织现象；当系统要素的数目发生变化时，会使系统在宏观层次上产生新的系统行为，为引起自组织提供了可能性；当系统要素的运动量的变化达到一定程度时，就会改变这些要素的原有排列次序，并在一定条件下引起自组织；当要素排列次序发生变化时，即使在上述各因素都不变的情况下，也会导致自组织。因为一个系统不管以何种方式进行自组织，都将经历要素排列次序的变化 。三是瞬变引起自组织。当系统从一个无序的状态向下一个状态过渡时，控制参量的突变可能使系统以自组织的方式形成一个新的结构或模式。这里，外界控制参量的大小对系统的相变起了决定性的作用。在现实的系统进化中，上述几种自组织方式通常相互交织而规定着整个自组织过程。

自组织是系统演化的基本形态，在此基础上，系统的演化还具有自同构、自复制、自催化与自反馈四种普遍形态。

自同构是指具有某种相同或近似结构、功能形式的系统，会在同一外界条件下，构成一定的结构与功能的层次，在空间中形成某种近似的结构类型与功能类型。自复制是指物质世界中任何一类系统处于一定外界条件下，随着时间的推移，会在与其他类型的系统及自身内部的相互作用中，不断产生出具有与其相类似的结构与功能的新系统。自催化是指系统演化中普遍具有自我催化的能力，是影响系统演化方向及其速度的重要因素。自反馈是指系统在演化过程中，可以不断将自身内部的某些信息以及系统与外界环境相互作用所产生的信息加以再吸收，以调节系统内部各区域的关系，以及根据环境的变化调整自身同外界的关系，导致系统内部诸要素之间关系的不断自我调整。这四种普遍形态，是系统自组织的具体化、典型化。

三、协同论在现代管理中的应用

协同论是一门横断科学和边缘科学。由于它研究和揭示的是各种不同系统，在一定条件下通过子系统间的协同合作与自组织，从无序转变为有序的共同规律和共同特征，因此它在自然科学和社会科学的各个领域都有着广阔的应用前景。人们都在试图用协同论的观点、原理和方法来研究和解决各个不同领域、不同类型的问题。目前，协同论在物理学系统、流体力学系统、化学和生化系统等方面，均已得到广泛应用，并已取得显著成绩。它在社会学、生物学、经济学等方面的应用也日益扩大。例如，由于协同论在社会系统中的应用而诞生了一门新的学科——定量社会学。在社会学中如舆论的形

成、人口动力学等，都给出了令人满意的模型。我国学者将协同论应用于经济学方面，创立了非平衡经济学。由我国学者胡传机和张纪岳等合作创立的《协同发展经济论》，受到经济学界的注目，成为这一应用成功的范例。协同论对现代管理，也具有深刻的指导意义和实践意义。因为现代管理系统大多数是包含若干子系统的复杂系统，如何通过协调各子系统间的关系，通过各子系统的通力合作达到自我发展、自我完善，实现管理的最佳效益等，正是现代管理所面临的迫切问题。在这些方面，协同论为现代管理提供了科学的理论基础。

（一）协同是现代管理的必然要求

首先，这是由现代管理的对象特点决定的。随着生产力的迅速发展和科学技术的突飞猛进，现代管理的对象变得越来越复杂，管理对象的复杂性，造成了管理系统的复杂化。现代管理系统普遍具有规模大、层次多、分工细、关系复杂、目标多样、信息量激增等特点。一个稍具规模的现代管理系统，都含有成千上百个要素或子系统。系统的运行和管理，都是一项复杂的系统工程。实行这样的管理，需要很多单位、部门以及很多人的共同参与和密切协作。例如，一台大型高能核子加速器，需要上千个科学家和工程师共同操作才能正常运行。原子实验、航天飞行，常常要动用几万、几十万人参加。就连一个几百人的小工厂，每天也不知道要动用和牵涉多少方面的人力、物力、财力及关系。所以，协同是现代管理系统复杂化、高效化、自动化的客观要求，是实现其有条不紊运行的决定性机制。

其次，这是由现代管理的协调职能决定的。现代管理本身

就是一种协调人们行为的活动。现代管理所固有的人际性、目的性、优化性、过程性、创造性、科学性、先进性等特性，在本质上要求现代管理必须通过人们分工协作的集体力量，对组织系统中各种人的力量之和进行高倍放大，从而实现低投入、高产出。所以，长期以来协调被人们公认为现代管理的一项重要职能。正如法国管理学家法约尔等人所说："管理就是计划、组织、指挥、协调和控制。"①"管理就是由一个或者更多的人来协调他人的活动，以便收到个人单独活动所不能收到的效果而进行的各种活动。"②当然，法约尔等人所说的协调，是从管理者角度出发的，较多地强调统一性和服从性。协同论中所说的协同，则强调自发性和自主性。但就目前现代管理的发展趋势看，二者的结合和统一则是必然。尤其是随着行为科学和管理心理学的日益崛起，随着对人在管理中起主导作用的充分认识，协调与协同在现代管理中越来越具有相近的意义。不论从何种角度看，管理诸要素间的协同合作和协调一致，对于现代管理都是至关重要的。

再次，这是由现代管理的目的决定的。现代管理所追求的是整体效益最优。系统的整体性原理告诉我们，系统的整体功能不等于各部分功能的简单相加，它可能大于、等于或小于各部分功能之和。系统的整体效应如何，在一定的条件下，关键在于各子系统间的协同作用如何。协同得好，系统的整体功能就好，反之则不然。现代管理系统更是如此。如果在一个管理系统内部，部门之间互相协调，单位之间互

①H·法约尔：《工业管理和一般管理》中译本，中国社会科学出版社，1982年11月版。

②小詹姆斯、H·唐纳利等：《管理学基础》中译本，中国人民大学出版社，1982年1月第一版。

相配合，为了实现管理目标，大家齐心协力，团结一致，那么就会产生1＋1＞2的效果。反之，倘若在一个系统内部，部门之间互相牵制，单位之间互相扯皮，人与人之间互不团结，这种要素间的互相离散、摩擦、掣肘造成的内耗，不仅使子系统发挥不出其应有的功能，而且还会使整个系统陷入一种混乱无序的状态，其结果必然会出现1＋1＜2的效果。所以，现代管理要想取得较好的整体效应，必须在加强协同机制上狠下功夫。无论管理者还是被管理者，都必须牢固地树立协同观念，增强协同意识。团结出力量，协同出效益，大到一个国家，小到一个企业、单位，莫不如此。

（二）自组织是系统自我完善的根本途径

根据协同论的自组织原理，系统从无序向有序演化的过程，实质上就是系统内部进行自组织的过程，协同是自组织的形式和手段。现代管理系统要想实现自我完善和自我发展，自组织是达到这一目的的根本途径。为促进现代管理的自组织，达到现代管理系统从无序向有序，从低级有序向高级有序转化的目的，必须注重以下两个方面的工作。

一是充分利用改革开放的外部条件。协同论借助于外参量变化对系统双向演化影响的定量描述，指出作为外因的外参量对系统的自组织进程所起的重要作用。哈肯认为，只有当外参量引起的协同作用达到一定的阈值时，系统才能自发地由无序的旧质变为有序的新质。改革开放为现代管理系统的发展创造了良好的外部条件，这种外部条件正是影响系统进行自组织和演化方向的外参量。通过改革开放，可以从外界大量地吸收物质、能量和信息，为自组织奠定必要的物质基础。通过改革开放，吸收优秀人才，引进先进设备和技术，

学习国外的先进管理经验和方法，为现代管理不断地输入能量和动力，从而促进和催化系统内部进行自组织，促使系统向着有序或更高级的有序发展。

在改革开放中应注意的问题是，对外界各种物质、能量、信息的输入应把握好一定的“度”。人才、设备、技术、经验的引进并不是越多越好，而是要根据我们的国情、国力及本单位的具体情况，择优选择。在引进的同时，要努力做好消化和吸收工作，这实质上就是一个把握外界控制参量大小的问题。控制参量的太大或太小，都会使我们达不到目的。只有当控制参量达到一定的阈值，使系统被控制在临界点附近时，系统的性质才可能发生变化，通过自组织形成新的有序结构。例如，盲目引进大中型设备，盲目扩大企业规模而缺乏全面筹划，设备进来了，原材料、技术、管理水平等却跟不上，或者引进大量技术来不及消化吸收等。这样不仅不能通过自组织达到有序，使之充分发挥效益，反而会使生产陷入一种更加无序的状态，造成很大的浪费。所以，控制引进规模，就是把握和控制企业外参量的“度”。

二是着力进行内部改革。改革开放为现代管理系统的自组织创造了条件，提供了动力。现代管理系统要真正实现自我完善和自我发展，必须在开放的条件下，着力于系统内部的改革。通过内部改革，理顺各种关系，调动各种积极因素，充分挖掘潜力，增强内部机制。这种内部改革的过程，实质上就是进行自组织和加强自组织能力的过程。改革包括的内容很多，诸如精简机构，提高办事效率和管理水平，克服官僚主义；调整产、供、销等各个部门和各个环节的关系，加强协调和衔接；改革干部制度和用人制度，做到任人唯贤，唯才是用，反对任人唯亲，提倡机遇均等；改革分配制度，做

到按劳取酬，多劳多得，奖勤罚懒，克服“平均主义”、“大锅饭”；改革用工制度，进行优化劳动组合，实行优胜劣汰，打破“铁饭碗”、“铁工资”；对职工进行在职培训，定期考核，不断提高职工素质；改善职工的工作、学习、生活条件，搞好福利事业；加强思想政治工作，坚持社会主义方向，充分发挥人们的积极性，增强主人翁意识和参与意识；如此等等。通过这些改革，才能健全和改善系统的自组织机制，增强内部活力，并随着改革的逐步深入，使系统走上自我完善和自我发展的道路。

（三）序参量是决定现代管理发展的主导因素

协同论高度重视系统在临界点上发生的相变，为了抓住主要因素建立模型，哈肯提出了序参量这一核心概念。在现代管理中，影响其发展的因素有很多，根据支配原理，只要我们善于区分本质因素与非本质因素、暂时因素与长远因素、必然因素与偶然因素，从中找出一个或几个起决定作用的序参量，就能够把握系统发展的方向。例如，一个企业发展的好坏可以用很多指标来衡量，这些指标往往组成一个庞大的指标体系，研究起来十分复杂。但是，在决定企业是发展还是倒闭的相变过程中，我们只需抓住反映企业发展的序参量——利润，就可以了。通过研究利润的变化情况，可以分析企业相变的规律，其他一些指标诸如产品数量多少，质量好坏，成本高低等，都要通过利润来反映。这种确定和掌握序参量的方法，实质上就是在分析研究系统的发展时，要抓住决定系统发展的主要矛盾。因为序参量是系统各种矛盾的集中体现，它不仅主导着系统演化的整个进程，而且决定着系统演化的结果。

有的系统在临界点附近同时存在几个序参量，每个序参量都对应着一种宏观结构。作为现代管理者，就要善于审时度势，通过适当控制外参量和加强内部协调，来强化和突出某一序参量，促使系统按照人们的愿望发展。

第十五章　突变论

一、突变论的产生

突变论，是近十几年发展起来的一个新的数学分支。它是研究自然界和人类社会中连续的渐变如何引起突变或飞跃，并力求用统一的数学模型来描述、预测并控制这些突变或飞跃的一门新兴学科。它主要运用拓扑学、奇点理论和结构稳定性等数学工具，着重考察和研究各种形态、结构的非连续突变现象及其规律。它通过耗散结构论、协同论与系统论联系起来，成为系统科学发展过程中的一个重要的新分支。

突变论的创始人是法国数学家雷内·托姆（Rene·Thom），他于1972年出版了《结构稳定性和形态发生学》一书，系统地阐述了突变理论，标志着这一学科正式问世。这一理论引起了科学界的高度重视，人们对数学领域这一新颖成果给予了极高的评价，被称之为“用精密数学工具描述生物学、社会科学等复杂现象的一次突破”，“是牛顿和莱布尼茨发明微积分300年以来数学上最大的革命”。由于托姆对这一理论的突出贡献，他荣获了当前国际数学界的最高奖——菲尔兹奖章。

突变论的产生和发展是人类对自然、社会和自身长期认识的必然结果。在自然现象和人类社会活动过程中，存在着大

量的突变现象，诸如火山的爆发、地震的发生、冰雪的融化、水的沸腾、建筑物的倒塌、海轮的沉没、战争的突发、市场的崩溃、政变的发生、企业的破产、病人突然休克和死亡、人类思维灵感的突现、精神病的突然发作等等。长期以来，这些现象困扰着人们，成为科学界十分关注的问题。人们急切地希望能够揭示出这些现象的规律，以便精确地进行分析和预测。然而，长期以来，渐变论是学术界的主导思想，对那些突然出现的非连续性变化，即连续性的中断，则往往和灾变论联系在一起。从牛顿到爱因斯坦的经典物理学，基本上是各种不同类型的渐变行为的理论。从牛顿创立的微积分到现在艰深的数学领域，研究对象也几乎都是一些渐变的、光滑的变化现象，如质点的运动，地球围绕太阳的旋转等，并不研究、处理这些奇妙的、然而又是与人类利益密切相关的突变过程。对于渐变的事物，人们能够运用已经取得的科学成果精确地预测未来的运动状态，而对于大量的突变现象，人类则长期处于一种无能为力和困惑不解的被动局面。突变事件的难以预料和难以掌握，以及它所产生的重大后果，使人们越来越认识到突变在事物运动变化中所占有的重要地位。基因突变导致的生物进化，“灵感”在创造思维中的奇妙功能，技术革命、社会革命所造成的人类文明等大量事例，向人们显示了突变在自然界与人类社会发展中所起的巨大作用。如何建立一种揭示突变现象规律的数学理论，已成为20世纪科学界发展的迫切任务。托姆的突变论正是适应这种需要产生的研究不连续的突变现象的数学理论。

突变理论脱胎于生物学，扎根于数学，发展于系统科学。

突变论的创始人托姆本人最初就是从生物学中的细胞、

胚胎开始其研究活动的。尔后，其他科学家又把这一理论推广到遗传、生态等方面的研究中。关于突变的概念，还可以追溯得更远。“突变”一词也被译为“灾变”、“激变”，由法国科学家乔治·居维叶（1769—1832）首先创用并引入生物学领域。他是达尔文进化论的主要论敌之一。达尔文主要从“渐变”或“连续性”的角度来考察世界，认为自然界的演变是十分缓慢的，与自然界这种演变相适应的物种变化也是一个缓慢、渐变的过程。每一个物种都与它的远古祖先有着明显的差异，这说明了物种在发展过程中普遍存在着变异；但相邻的两代物种又没有显著的区别，这说明了物种是通过遗传而变异的。与达尔文的观点相反，居维叶认为，自然界的变化是十分剧烈的，地球曾多次发生巨大的灾变，使山脉升降，洪水泛滥。巨大的灾变一次又一次地灭绝了地球上古老的物种，随后大自然又创造出新的物种。各物种一经出现，就不会发生变化。他在《地球表面的灾变论》（1825）一书中断言：“过去的物种和现在的物种一样，是永恒不变的。”这说明渐变和突变很早就是生物学争论的一个焦点。

长期以来，虽然人们只注重于渐变过程的研究，而忽略了对突变事物的研究和认识，但是，事物发展的客观规律总是敦促人们去努力地揭示和发现这些规律。按照马克思主义唯物辩证法的观点，事物的发展有两种状态，一种是量变，一种是质变。量变是一种逐渐的、不显著的变化；质变是根本性质的变化，是事物由一种质态向另一种质态的飞跃。量变和质变的相互转化，是事物发展的普遍规律。科学家发现了大量连续变化引起突变的事例。实践证明，渐变论和灾变论各自反映了事物发展变化的一个侧面，都含有一定的合理

成分，应当从互相补充的角度重新研究达尔文和居维叶的学说，把渐变论和突变论统一成一个完整的学说。托姆就是在此基础上，着手于突变论的研究，突变论也正是这一结合的产物。虽然托姆仍然沿用了居维叶所使用的"突变"一词，但他的基本思想却和居维叶的灾变论截然不同。

托姆主要是以稳定性理论为基础，从稳定性理论出发，着重考察某种过程从一种稳定态到另一种稳定态的跃迁，并通过稳定性理论的应用，阐发突变的形式，回答什么是突变这一带根本性的问题。他运用拓扑学、奇点理论等数学工具，并吸取了传统数学方法的长处，把人类千百年来关于质变的经验总结成数学模型，通过这些精确的数学模型，把握事物的质量互变过程，为人们认识突变过程的形成、发生、发展提供科学的依据和方法。

突变论深刻地揭示了突变过程的内在奥秘，大大开拓了人类认识事物运动变化的视野。由于突变论用精密的数学工具为各类突变建立了模型，直观地描述了在临界点附近，外部条件微小变化引起系统突然的跳跃质变的规律，因此它和耗散结构论、协同论一样，都是围绕临界点展开的非平衡系统理论。在这一交会点上，他们彼此借鉴，交相辉映，具有异曲同工之妙。

由此，突变论通过耗散结构论、协同论与系统论构成了必然的联系，成为系统论和系统科学的一个新的理论分支。近些年来，人们试图用突变论来讨论系统的演化问题，讨论系统的分支、相变以及产生稳定有序结构等问题，使突变论进入了一个应用和发展的新阶段。

当然，突变论作为数学的一个分支，由于它要求研究对象必须能够建立定量的数学模型，因而在实际应用时尚具有

一定的局限性。目前，对于比较简单的复杂系统采用突变论，可以有一定的结果，对于象社会系统这样的复杂系统，一般有几十个、甚至几百个变量，且互相之间存在强烈的非线性耦合作用，还不能给出具体的解析结果。然而，从这一理论中提炼和概括出的系统思想和哲学思想，却有着广泛的适用性。因此，在现代系统理论中，突变论占有不可忽略的地位。正如著名数学家斯图尔特在其撰写的《七种基本突变》一文中所指出的，"适当地理解突变理论，可以为我们生存的世界提供新颖而深入的见解。但它还需要加以发展、检验、修改，经历一般成为可靠的科学工具的全部过程。但我毫不怀疑，突变理论已经站住脚跟，但它并非万能，也不是宇宙中的唯一事物。"我们应以科学的态度，正确对待这一新兴理论在自然科学和社会科学中的意义和作用，不断探索突变论应用和发展的新途径。

二、突变论的基本内容

（一）稳定态与非稳定态，渐变与突变

突变论以稳定性理论为基础，通过对系统稳定性的研究，阐明了稳定态与非稳定态，渐变与突变的特征及其相互关系，广义回答了为什么在客观事物的发展过程中，有的是渐变，有的则是突变，从而揭示了突变现象的规律和特点。稳定机制是事物的普遍特性之一。事物的不同质态，从根本上来说，就是具有稳定性的状态。所以，系统结构的稳定性是突变论阐述的主要内容，它是突变论研究的出发点和参照系。在此

意义上，突变论的研究内容可用一句话来概括，就是着重考察某种过程从一种稳定状态到另一种稳定状态的跃迁。托姆关于突变论的代表作之所以叫做《结构稳定性和形态发生学》，意义也就在于此。

托姆认为，自然界或人类社会中的任何一种运动状态，都有稳定态与非稳定态之分。在微小的偶然扰动因素作用下仍然能够保持原来状态的是稳定态，一旦受到微扰就迅速离开原先状态的则是非稳定态。非稳定态不能保持，因为偶然的微扰实际上总是不可避免的，所以它总是不断地变动着，直至达到某一稳定态才告一段落。因此，从非稳定态向稳定态变化，是客观世界运动变化的一种普遍趋势。托姆通过研究发现，事物的各种状态，包括稳定态与非稳定态，是相互交错的。在外部控制因素的影响下，事物既可以处于稳定态，也可以处于非稳定态。状态随控制因素变动的函数图形可以分为单值区域和多值区域。在单值区域，一定的控制因素对应于唯一确定的稳定态。在多值区域，一定的控制因素对应于若干个状态，其中既有稳定态，也有非稳定态。状态变化的函数图形，又可分为稳定区域、非稳定区域和两者的分界线。如果状态开始处于稳定区域，在控制因素连续变动时，状态也随之连续变化，当控制因素变动到一定数值（临界值）时，状态就会达到稳定区域与非稳定区域的分界线（临界曲线）。这时虽然不再变动控制因素，但由于微扰的不可避免，状态仍然会迅速离开临界曲线，跳跃式地变化到某一新的稳定态，这就是突变。

事物的渐变或突变，是和事物本身所处的状态密切相关的。哲学上关于质变问题的争论，很长时间以来总是集中在一个焦点上，即质变是通过飞跃还是通过渐变来实现的？并

形成了三派意见。“飞跃论”者认为，从一种质态向另一种质态的转化，必然是一种突变、一种飞跃，渐进过程必然中断，出现一个区别两种质态的关节点，以非连续的方式完成从旧质到新质的过渡。他们常举的例子有：暴力革命、经济危机的爆发、材料的断裂、水在常压下的沸腾等。“渐进论”者认为，在任何两种质态之间，不存在什么绝对分明和固定不变的界线，不存在“非此即彼”的绝对有效性，一切对立都互为中介，一切差异都在中间阶段互相融合。因此，不同质态的变化，归根结底是渐进的，连续的。他们常举的例子有：经济的复苏、社会的改良、语言的演变、元素的衰变、水的挥发、燃料的缓慢氧化及生物进化等。“两种飞跃论”者则认为，飞跃可分为“爆发式飞跃”和“非爆发式飞跃”两种。突变论把人们关于质变的经验总结成数学模型，为考察一个过程是渐变还是飞跃提供了新的判别方法。它所提供的突变模型表明，质变可以通过飞跃的方式来实现，也可以通过渐变的方式来实现，并给出实现两种质变的方式和范围，即在严格控制条件的情况下，如果质变经历的中间过渡态是不稳定的，那么它就是一个飞跃过程；如果中间过渡态是稳定的，那么它就是一个渐变过程。这说明实现质变的方式是突变还是渐变，完全取决于其中间过渡态。托姆还发现，在一定情况下，只要改变控制条件，一个飞跃过程可以转化为渐变，而一个渐变过程又可以转化为突变。例如，经济危机在爆发时，常常是一种突变，在复苏时往往要经历一个缓慢的回升过程。这就暗示着相应的经济模型中有一个折迭区，危机爆发时各种因素将经济行为推入这个折迭区，复苏时各种因素又使经济行为绕开折迭区，并沿着曲面的连续部分回升，从而表现出渐变。在突变模型中，折迭区是一个中

介区、过渡区，又叫双值区、双态共存区(图15—3阴影区)。如果事物经过折迭区时涨落（干扰）较小，它就是存在两种不同稳定质态的稳定区，质变以渐变方式实现。如果涨落较大，它就成了可能选择一种稳态的随机区，质变以突变（飞跃）方式实现。在危机爆发时，由于事物被推入了敏感的折迭区，加之在危机爆发时，往往矛盾四起，涨落较大，突变很容易发生，所以，经济危机多以突变形式出现。

控制变量和状态变量是突变理论中两个最基本的概念。控制变量是指那些作为突变原因的连续变化因素，状态变量是指可能出现突变的量。用控制变量和状态变量的变化来描述系统的演化过程就是，当控制变量不变时，状态变量处于稳定状态；当控制变量变化时，状态变量也随即变化，一般呈渐变状态；当控制变量达到某一数值时，状态变量原有的稳状消失，发生突变。例如，在水的物相变化中，控制变量是温度和压强，它们始终是连续变化的，状态变量是水的密度。在一个大气压下，到100℃，水就沸腾，从液态变为气态；到0℃，水就从液态变成固态，成为冰。这是由渐变到突变的典型例子。

由上可见，在稳定态与非稳定态、渐变与突变，以及质态变换这些根本性的问题上，托姆在突变论中着重阐明了以下几点：

1.稳定性是事物的普遍特性，稳定态与非稳定态是事物运动的两种根本状态，是对立统一的两个方面。二者相互交错，贯穿事物发展变化的全过程。

2.渐变和突变都是实现质态变换的途径。判断质变方式是渐变还是突变，关键要看质变经历的中间过渡态是不是稳定的。如果是稳定的，那么就是渐变；如果是不稳定的，那

么则是突变。渐变和突变，可以根据一定的条件互相转换。

3.事物在一种结构稳定态中的变化是量变，在两个结构稳定态之间的变化或在结构稳定态与不稳定态之间的变化则是质变。量变必然体现为渐变，质变则可能体现为突变，也可能体现为渐变。突变必然导致质变，但突变并不是质变的唯一形式。

（二）分类定理与突变模型

突变论运用数学工具描述系统处于稳定态、不稳定态的参数区域以及系统突变时的参数特定位置，从而建立起突变过程的数学模型。托姆通过对不同变量、不同参数情况下的突变数学模型进行仔细分析和研究，经过严格的数学推导，找到了它们的标准形式，获得了著名的分类定理：当状态变量不多于2，控制变量不多于4时，自然界形形色色的

表15-1

突变类型	状态变量个数	控制变量个数	能量函数
折迭形	1	1	x^3+ux
尖角形	1	2	x^4+ux^2+vx
燕尾形	1	3	$x^5+ux^3+vx^2+wx$
蝴蝶形	1	4	$x^6+tx^4+ux^3+vx^2+wx$
双曲形	2	3	$x^3+y^3+ux+vy+wxy$
椭圆形	2	3	$\frac{1}{3}x^3-xy^2+ux+vy+w(x^2+y^2)$
抛物形	2	4	$x^2y+y^4+ux+vy+wx^2+ty^2$

突变过程，都能够用7种标准形式的最基本的数学模型来描述，它们分别是折迭形、尖角形（亦称尖顶形或尖点形）、燕尾形、蝴蝶形、双曲形、椭圆形和抛物形，如表15—1所示。

表中的能量函数也叫势函数，或简称势，它是状态变量x、y与控制变量u、v等的函数。

在这七种类型的模型中，最简单的是折迭形。它的势是

$$V\ (x)\ =x^3+ux$$

相空间是二维的（一个是状态变量x，一个是控制变量u）。它的突变曲面是抛物线

$$3x^2+u=0$$

奇点集（指导数和雅可比行列式为零的点的集合）满足方程

$$6x=0$$

即是一个点(0，0)。分歧点集（是奇点集在控制空间中的投影，是控制空间中所有使势V的形式发生变化的点的集合）是一个点$u=0$，如图15-1所示。

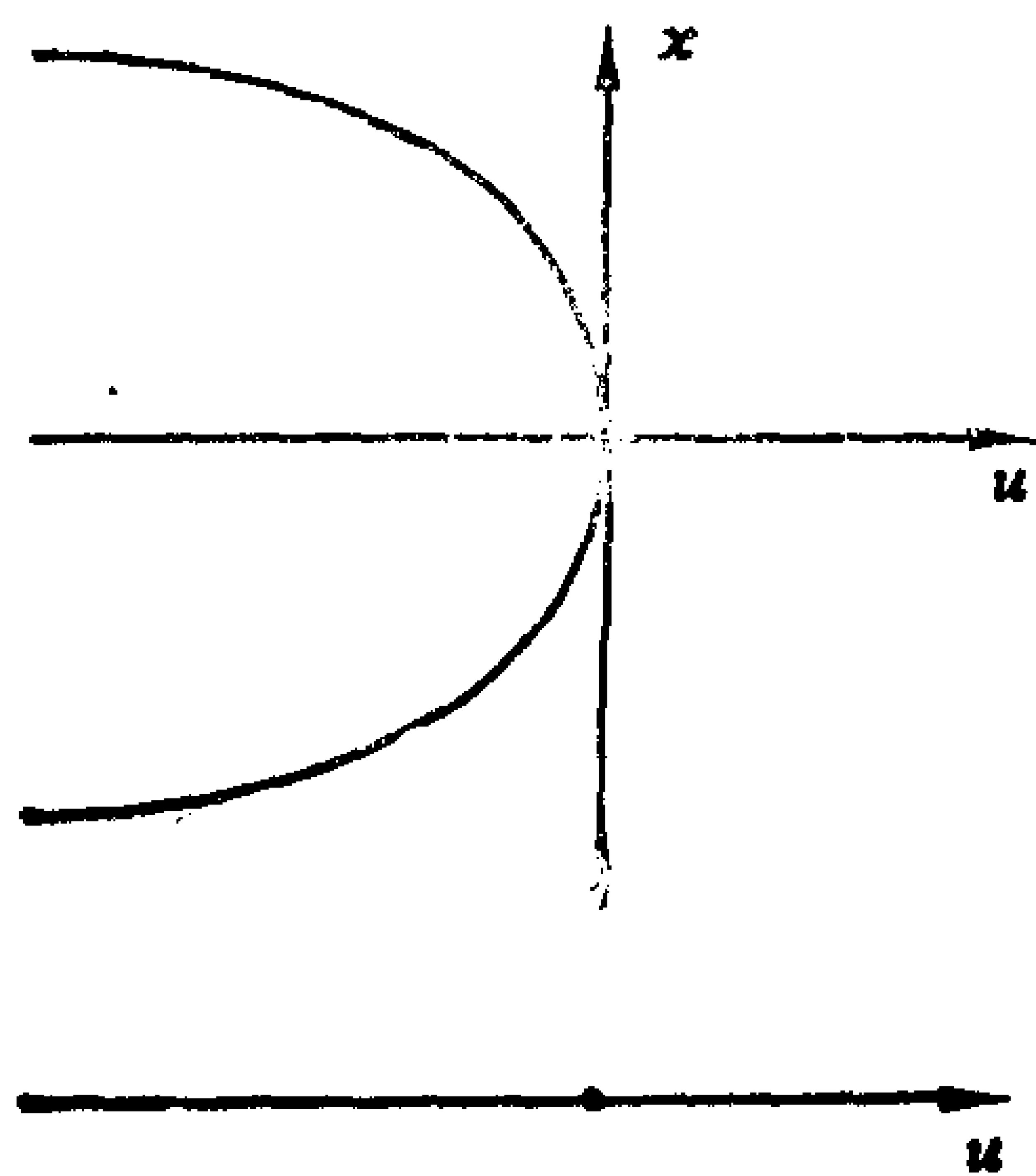


图 15—1

以分歧点$u=0$为界，若$u<0$，V有两个临界点——一个极小点和一个极大点，分别对应系统有两个平衡点——一个稳定平衡点和一个不稳定平衡点；若$u>0$，V没有临界点，系统没有稳定的平衡点。因此，当控制变量u从$u<0$经过$u=0$到$u>0$时，系统将失去稳定性。

在实际当中，折迭形突变是一种只有一个控制因子和一个反应因子的突变，它代表事物主要由于一种因素的变化所导致的质变。例如，人体的组织结构和功能，会仅仅由于癌细胞的扩散使稳定态向不稳定态转化，即从有生命变为死亡。当控制因子$u>0$（u在这里代表癌扩散程度）时，人体功能将失去稳定性。癌细胞滋生和扩散的过程，就是人体发生质变的过程，达到一定程度，人就会死亡。

尖角型突变模型是最常用、也是比较简单的一种突变模型。它的势是

$$V(x)=x^4+ux^2+vx$$

相空间是三维的（一个状态变量x，两个控制变量u和v）。它的突变曲面方程为

$$4x^3+2ux+v=0$$

看上去，象一块布料打上褶一样，如图15-2所示。奇点集满足方程：

$$12x^2+2u=0$$

从这两个方程消去x，得到分歧点集满足的方程：

$$8u^3+27v^2=0$$

图15—2表明了尖角型突变的突变曲面和分歧点集。

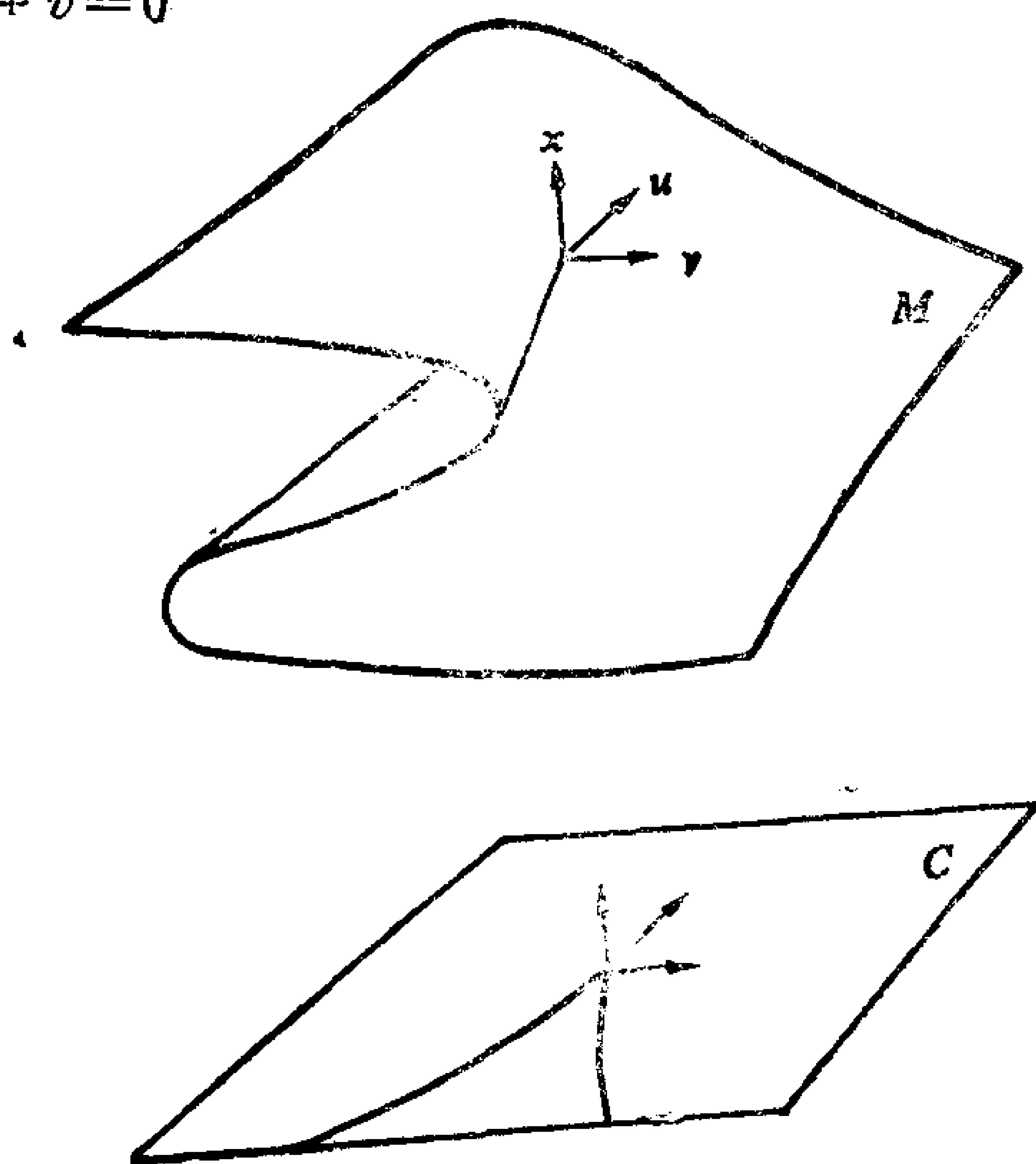


图 15—2

尖角型突变有5个典型特性：突

变、滞后、发散、双模态和不可到达。突变是指控制变量的点(u, v)沿一个方向横越尖点区，在第二次通过分歧点时，系统的状态将要发生不连续的变化。滞后是指点(u, v)前后沿两个方向横越尖点区时，两次突变发生在(u, v)的不同位置处。发散是指点(u, v)沿u轴近旁进入尖点区时，若点(u, v)通过点$(0, 0)$的不同侧面，则系统的状态将会大不相同：或处在M（突变曲面）的上叶，或处在M的下叶。双模态是指在界尖点区，对应于每一个点(u, v)，系统有两个同时可能的稳定状态。不可到达是指M的中叶是不稳定的临界点之集合，对应于系统的不稳定状态，即系统不可能真正实现这些状态。

下面是一个关于“狗的攻击”的尖角型突变模型，如图15—3所示。模型上部曲面表示行为状态，表现为进攻或退却，下部的平面是控制平面，变量是愤怒与恐惧。曲面又可分成

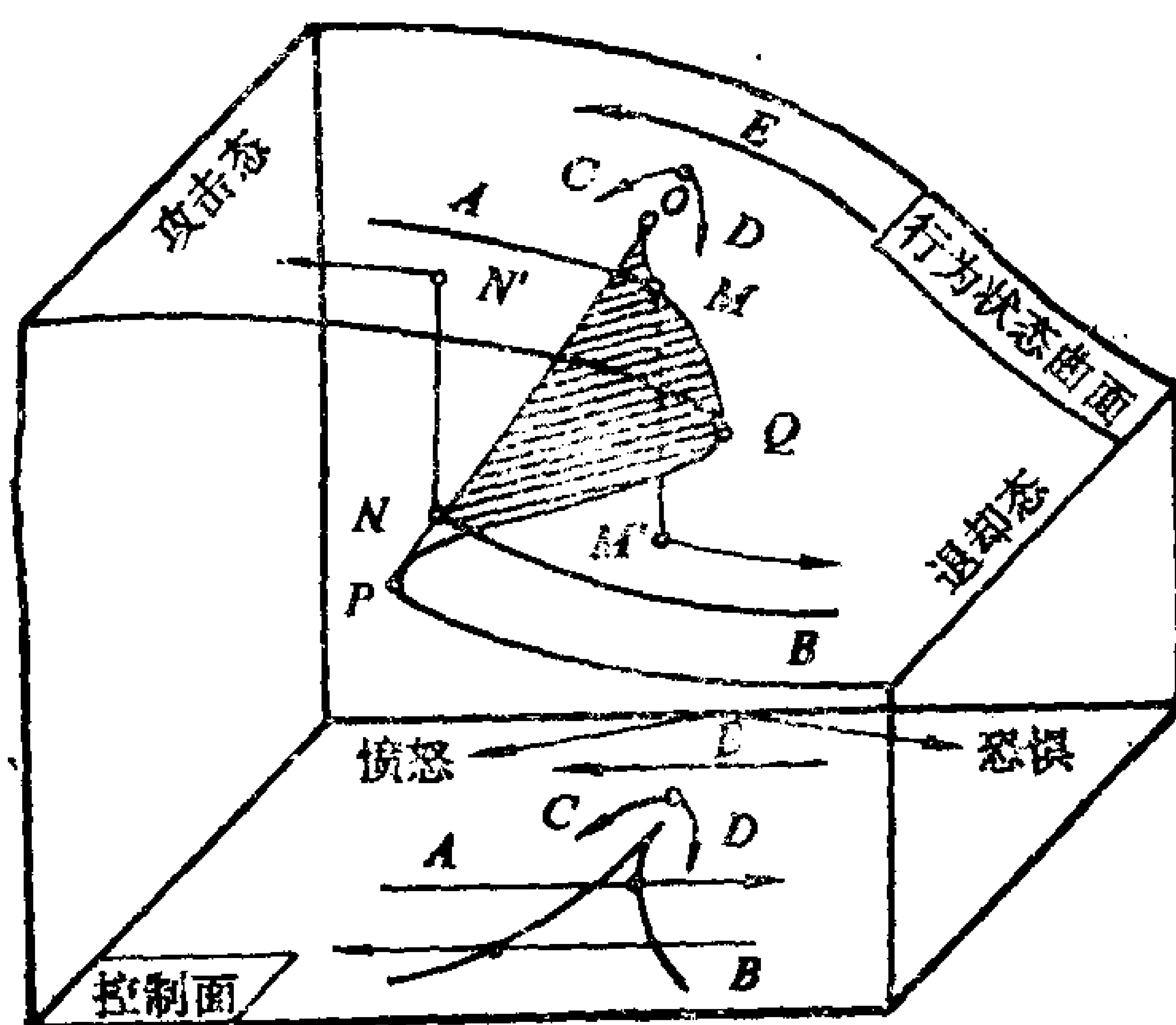


图15—3 “狗的攻击”突变模型

顶叶、底叶（表示最可能的行为）和光滑折迭的中间叶（表示最小可能的行为）。状态曲面在控制面上的投影是一条尖形曲线，标志着行为产生分支的区域边界——分支集。

狗在受到逼迫时的攻击行为，随着愤怒（张嘴）的单独增加而增加，由B至顶叶的攻击态；随着恐惧（垂耳）的单独增加而减弱，由A至底叶的退却态，这就是“双模态”。如果两种因素同时增加，则狗的行为将取决于它是按路径C还是D行动，按C则攻击，按D则退却。这时，一个小小的刺激就会使狗的行为发生剧变。这就是“发散”。如果狗处于中间那不稳定的折迭叶，它是不能严守中立而要马上行动的，这是“不可达性”。如果狗先怒后恐，就会沿A下行，当恐惧增加到一定程度将在分支点M一下子跌至M'，由退却突然改变为逃跑；反之，则由B上升，由N一下子跃至N'，由退却转为攻击，事前全无征兆，此谓“突跳”。狗的行为突变并不发生在相同的位置，如M点与N点处的愤怒程度是不一样的，这就是“滞后”。

实际当中，在处理冲突的尖角型突变模型中，行为状态是冲突和妥协，控制变量是威胁和代价(如消耗、混乱等)。在1962年的古巴导弹危机事件中，美国从一开始就认为威胁大于代价，所以采取了鹰派政策的攻击路径C(见图15—3)，而苏联则估计相反，采取退却路径D。但是，如果威胁大致不变，而代价增至一个阈值时，路径C就会向右转变，突然退出冲突。如美国在越南战争中的表现。反之亦然。

其他几种突变模型，由于其突变曲面都是4维或5维的超曲面，控制空间也都是3维或4维，分析起来，也比较复杂，这里就不再赘述。

托姆的分类定理及其突变模型，是一种重要的数学方法，

它为人们精确地认识突变现象提供了全新的工具。托姆作为一个出色的拓扑学家，对高维曲面的拓扑性质有精深独到的见解，而高维空间的曲面理论，就成为突变论的数学基础。

三、突变论在现代管理中的应用

突变论作为现代科学方法，目前已逐渐被运用到许多领域，并取得了令人满意的成果。尤其在自然科学方面的应用，成果更加显著。例如，在物理学方面，突变论除了可用来研究相变和弹性梁的弯曲状态外，还可以用来研究一些其他现象，以及用来描述激波的传导、曲面面积最小化、非线性振动及流体力学等问题。在生物学方面，科学家已开始用突变论建立心跳的数学模型，研究刺激在神经内的传播，原肠胚的形成，胚胎中体节的形成，细胞分裂等。突变论在社会科学方面的应用争论较多，目前还刚刚起步，但已显示出其诱人的前景。

就目前来说，突变论的应用一般可分为直接应用和间接应用两个方面。直接应用就是研究突变条件，利用突变模型来说明各种突变过程，如火山爆发、大桥断裂、轮船沉没，物体的固、液、气三态变化等。间接应用比前者更广泛，表面上它似乎与突变过程无关，如海浪运动过程、岩石断层的剖面、胚胎发育中的空腔、海市蜃楼等，都能用突变理论进行说明。它为研究自然界中各种变化形态提供了有效的工具。

突变论在现代管理中也有广泛的用途。虽然在这方面的应用还仅仅是开始，还有待于深入探索和发掘，但很多人对

此已产生了极大的兴趣。突变论在管理中的应用，目前主要涉及以下几个方面：

1.突变论应用于现代管理决策，可以开阔决策者的视野，有利于决策者审时度势，及时作出决断。例如，在处理妥协的蝴蝶型突变模型中，有4个控制变量。平面中的冲突变量是威胁和代价，中叶的蝴蝶因子代表妥协，它可以是时间，因为冲突时间过长则可以导致妥协。偏倚因子可取为决策者的倾向性、偏爱（如“鹰派”与“鸽派”）。冲突是从威胁因子占上风开始的，随着时间的流逝出现了中叶，并且向下越来越宽，如图15—4所示。假设某决策集团初取鹰派政策，

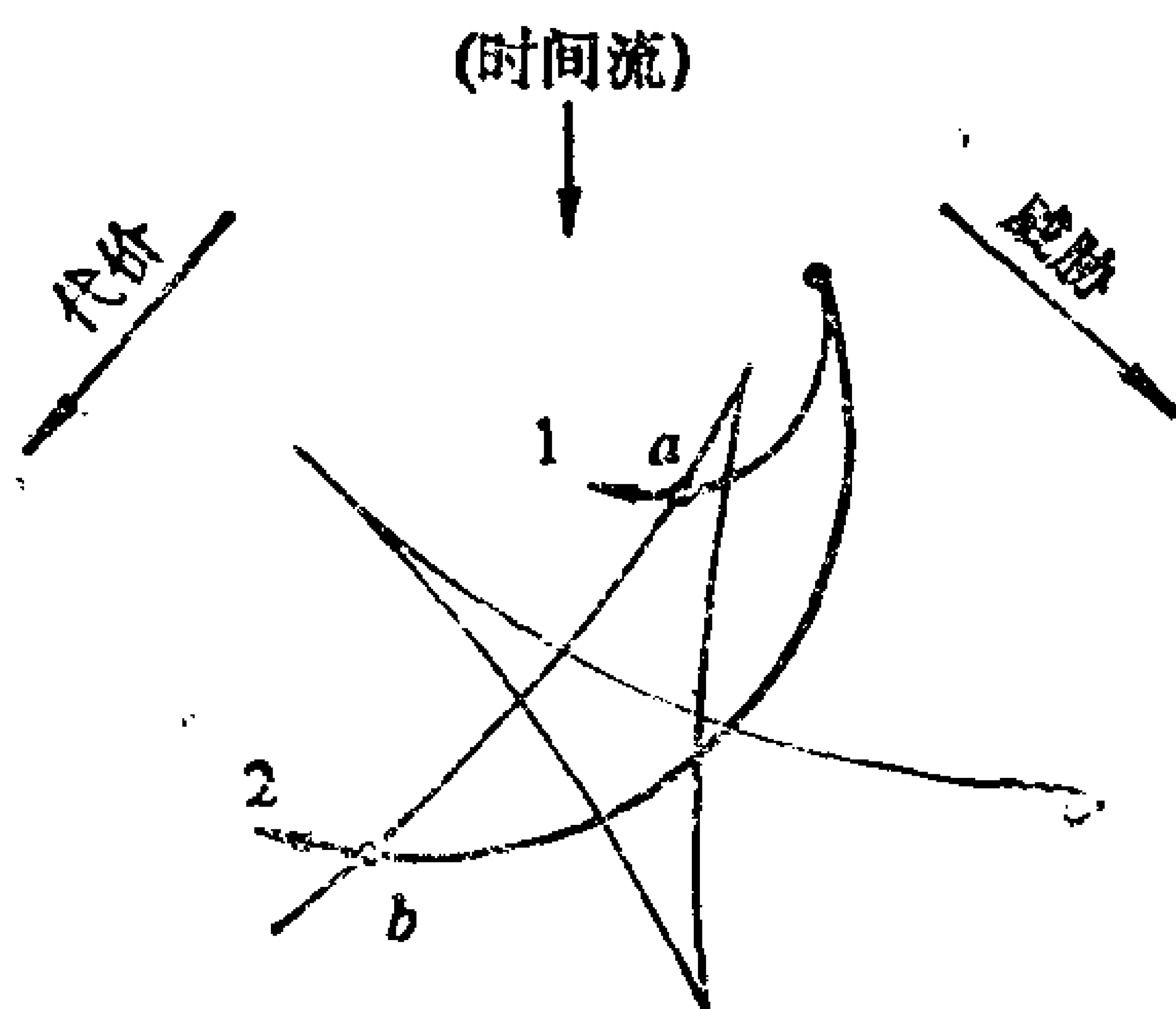


图15—4 “妥协”突变模型的控制平面

后来发觉代价太高，如果意识得早，可能取路径1，在a点转为妥协；倘若意识得晚，则威胁水平也大为提高，就可能取路径2，在b点转为鸽派姿态。不过，在形势严峻时，妥协状态就是“不可达”的了。这个模型可应用于风险型决策，它指出了决策的远见性和及时性的至关重要。一个具有想象力的决策者，应当抓住调整及改变政策的有利时机，并把它

变为实际的行动。

2.突变论应用于现代管理控制，有助于人们视不同情况，采取不同控制措施，多途径实现控制目标。为达此目的，主要是在对状态与控制因素之间的相互关系、稳定区域、非稳定区域、临界曲线的分布与特点以及突变的方向与幅度的认识基础上，变稳定状态控制为超稳定状态控制，变状态控制为演化过程控制，变消极控制为积极控制，变单调控制为迂回控制。

通常的控制都是追求与保持某一稳定态。超稳定态控制则是寻求通过某种非稳定态到稳定态的突变，达到新的更高级的稳定态（将能产生走向更高级稳定态突变的非稳定态称为超稳定态）。有魄力的管理者，敢于并善于使系统进入超稳定态，破坏旧的稳定秩序使之进入一个非稳定态，通过突变达到新的更加高级的稳定态。改革就是超稳定态控制。一方面，它必须打破而不能禁锢于原有的稳定态；另一方面，它追求的又不应当是非稳定态本身，而是新的稳定状态。

通常的状态控制只是从当前的效果出发，是静态控制。而演化过程控制的目标则是使状态按人们所希望的演化过程和演化方向变化，是动态的、高瞻远瞩的全过程控制。例如，以价格调整实施对经济系统的控制时，就不仅要考虑到当前的经济平衡，更要充分估计到由此发端的状态突变及整个演化过程造成的经济效果。

通常的控制因素之所以只能实现稳定控制、状态控制，其原因就在于将受控系统当作消极、被动的因素。积极控制则不仅将外部控制因素，而且也将受控系统内部因素当作高层次的控制因素。事实上，真正有效的管理控制，是控制元件与受控系统共同参加的更高层次的控制，是管理者和被管理

者共同当家作主，这种控制即使在突变过程中也仍然发挥着控制作用。提倡参与管理、民主管理，意义也正在于此。

通常的控制都是单调变动控制因素，尽管这种控制的主观愿望是使状态以最短路径接近目标，但它往往会因急于求成而适得其反。迂回控制是通过灵活地调动包括内部因素在内的控制因素，有进有退，有增有减，使状态变化巧妙地沿着迂回的路径，达到所希望的突变临界值。

3.突变论应用于现代管理过程分析，有助于人们正确认识质态转化形式，注意渐变与突变两种演化模式的有机结合。例如，在改革开放过程中，当人们心理尚不能承受时，不妨绕过折迭区，以渐变方式走向质变，大处着眼，小处着手，积小胜为大胜，稳步前进。由于被破坏的旧质态存在故态复萌的可能，所以必须注意破坏力与恢复力之间的适当比例。滞后效应又往往要求突变“矫枉过正”，这就是说，一项改革措施突破之后，要注意巩固改革成果，适当加强巩固措施。

主要参考书目

1. 维纳：《控制论》，科学出版社1963年版。

2. 维纳：《人有人的用处》，商务印书馆1978年版。

3. 艾什比：《控制论导论》，科学出版社1965年版。

4. 尼·伊·茹科夫：《控制论的哲学原理》，上海译文出版社1982年版。

5. 申农：《通讯的数学理论》，上海市科学技术编译馆编《信息论理论基础》，上海市科学技术编译馆1965年版。

6. 王雨田主编：《控制论、信息论、系统科学与哲学》，中国人民大学出版社1986年版。

7. L·V·贝塔朗菲：《关于一般系统论》，《自然科学哲学问题丛刊》，1984年第4期。

8. L·V·贝塔朗菲：《普通系统论的历史和现状》，《国外社会科学》，1978年第2期。

9. L·V·贝塔朗菲：《一般系统理论——基础·发展·应用》，社会科学文献出版社1987年版。

10. F·E·卡斯特、J·E·罗森茨韦克：《组织与管理—系统方法与权变方法》，中国社会科学出版社1985年版。

11. 三浦武雄、浜冈：《现代系统工程学概论》，中国社会科学出版社1983年版。

12. 钱学森：《系统思想、系统科学和系统论》，《系统理论中的科学方法与哲学问题》，清华大学出版社1984年

版。
13. 钱学森主编：《关于思维科学》，上海人民出版社1986年版。
14. 邹珊刚等：《系统科学》，上海人民出版社1987年版。
15. 王兴成：《科学学与系统科学》，光明日报出版社1987年版。
16. 黄麟雏、邹珊刚、李继宗：《系统思想与方法》，陕西人民出版社1984年版。
17. 魏宏森等：《现代科学技术的发展与科学方法》，清华大学出版社1985年版。
18. 张卓民、康荣平：《系统方法》，辽宁人民出版社1987年版。
19. 刘豹：《系统工程导论》，天津科学技术出版社1987年版。
20. 郭耀煌：《运筹学与工程系统分析》，中国建筑工业出版社1986年版。
21. 邓志刚、李国纲等：《管理系统工程教程》，经济科学出版社1987年版。
22. 王众托、张军：《系统管理》，辽宁人民出版社1985年版。
23. 曾广容等：《系统论、控制论、信息论概要》，中南工业大学出版社1986年版。
24. 查有梁：《控制论、信息论、系统论与教育科学》，四川省科学院出版社1986年版。
25. 魏宏森：《控制论、信息论、系统论与现代科学方法论》，《科学方法论研究》，科学普及出版社1983年版。

26．黄孟蕃：《决策的科学方法》，海洋出版社1983年版。

27．沈丽天：《系统信息控制科学原理》，南京大学出版社1987年版。

28．童天湘：《科学的控制论化和哲学的现代化》，《现代自然科学的哲学问题》，吉林人民出版社1984年版。

29．周去、陈文：《管理哲学——系统学》，上海交通大学出版社1985年版。

30．潘永祥：《自然科学发展简史》，北京大学出版社1984年版。

31．邢进、陈烈、方建：《军事管理学基础》，军事学院出版社1985年版。

32．肖毅：《耗散结构理论的哲学问题》，《现代自然科学的哲学问题》，吉林人民出版社1984年版。

33．沈小峰、胡岗、姜璐：《耗散结构论》，上海人民出版社1987年版。

34．Г·И·鲁札文：《协同学和系统方法》，《哲学译丛》1986年第1期。

35．沈骊天：《突变理论与社会控制》，《光明日报》1987，2，11。

责任编辑：刘晓燕
封面设计：易　明

ISBN 7-200-01036-7/F·60

定　价：4.20元